tijdschrift van het

nederlands elektronica- en radiogenootschap

deel 54 nr.4 1989

nederlands elektronica- en radiogenootschap

Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap
Postbus 39, 2260 AA Leidschendam. Gironummer 94746
t.n.v. Penningmeester NERG, Leidschendam.

HET GENOOTSCHAP

De vereniging stelt zich ten doel het wetenschappelijk onderzoek op het gebied van de elektronica en de informatietransmissie en -verwerking te bevorderen en de verbreiding en toepassing van de verworven kennis te stimuleren.

Het genootschap is lid van de Convention of National Societies of Electrical Engineers of Western Europe (Eurel).

BESTUUR

LIDMAATSCHAP

Voor lidmaatschap wende men zich tot de secretaris.
Het lidmaatschap staat open voor academisch gegradueerden en hen, wier kennis of ervaring naar het oordeel van het bestuur een vruchtbaar lidmaatschap mogelijk maakt. De contributie bedraagt ƒ 60,– per jaar.

Studenten aan universiteiten en hogescholen komen bij gevorderde studie in aanmerking voor een junior-lidmaatschap, waarbij 50% reductie wordt verleend op de contributie. Op aanvraag kan deze reductie ook aan anderen worden verleend.

HET TIJDSCHRIFT

Het tijdschrift verschijnt zesmaal per jaar. Opgenomen worden artikelen op het gebied van de elektronica en van de telecommunicatie.

Auteurs die publicatie van hun wetenschappelijk werk in het tijdschrift wensen, wordt verzocht in een vroeg stadium contact op te nemen met de voorzitter van de redactiecommissie.

De teksten moeten, getypt op door de redactie verstrekte tekstbladen, geheel persklaar voor de offsetdruk worden ingezonden.

De abonnementsprijs van het tijdschrift bedraagt ƒ 60,–. Aan leden wordt het tijdschrift kosteloos toegestuurd.

Tarieven en verdere inlichtingen over advertenties worden op aanvrage verstrekt door de voorzitter van de redactiecommissie.

REDACTIECOMMISSIE

ONDERWIJSCOMMISSIE

HET OLYMPUS PROPAGATIE EXPERIMENT – OPEX

Prof.Dr.Ir. G. Brussaard
Technische Universiteit Eindhoven

The Olympus propagation experiment OPEX. The smallest of the Olympus payloads, the propagation package, and the experiments to be carried out with it have been the subject of intensive discussions between prospective experimenters in order to develop a truly European research project. The paper introduces the propagation payload, a package of CW beacon transmitters operating at 12.5, 20 and 30 GHz, respectively. Its mission and main characteristics are reviewed.
One of the objectives of the payload is the collection of long–term statistical propagation data over Europe. For this purpose a project for the coordination of experiments and standardisation of data processing and analysis was set up under the name OPEX. This project, its activities and main results are described. The realisation of a standardised software system for data analysis will enable experimenters to collate a European database for the development and evaluation of new satellite communication systems in the 20 and 30 GHz bands.

1. Inleiding

Eén van de vier "nuttige ladingen" die de Olympus satelliet draagt is een pakket van drie bakenzenders die ongemoduleerde draaggolven uitzenden op resp. 12.5, 20 en 30 GHz. Deze zenders zijn speciaal ontworpen ten behoeve van het onderzoek van de voortplanting (propagatie) van radiogolven door de atmosfeer. Het 12.5 GHz baken wordt daarnaast ook algemeen gebruikt als baken voor automatische volgsystemen in grondstations.

Het doel van de propagatie–experimenten met de Olympus bakens is het verzamelen van statistieken over lange duur van het optreden van signaalverstoringen van allerlei aard, veroorzaakt door de atmosfeer. Om voor het gehele klimaatgebied van Europa deze gegevens te verzamelen zijn langdurige metingen op een groot aantal plaatsen nodig. Om de geplande experimenten te coordineren en te ondersteunen ging al enkele jaren geleden een project van start van Europese samenwerking, op vrijwillige basis, tussen alle instituten die zich voorbereiden op deelname aan de Olympus propagatie experimenten. Dit project, door ESA geleid onder de naam OPEX (Olympus Propagatie EXperiment) resulteerde na enige jaren van intensieve uitwisseling van ideeën in overeenstemming betreffende apparatuurspecificaties, dataverwerkingsprocedures en statistische analyse–methoden. Hierdoor zullen naar verwachting uitwisseling van gegevens en samenvoeging van statistische resultaten sterk bevorderd worden. Daarmee wordt de bruikbaarheid van de gegevens voor de planning van toekomstige satelliet-communicatiesystemen op Europese schaal gewaarborgd.

Het propagatie–experiment, het OPEX projekt en de gestandaardiseerde verwerking van de gegevens worden beschreven in dit artikel.

2. Het propagatie–experiment

Doelstelling

Een groot aantal telecommunicatiediensten die van satellieten gebruik maken, maken op dit moment een snelle ontwikkeling door. Dit betreft vooral omroep en mobiele communicatie, maar ook vaste "point–to–point" of "point–to–multipoint" verbindingen met zeer kleine grondstations (VSAT's) zijn met groot succes de concurrentie met de glasvezelkabel begonnen. Voor al deze ontwikkelingen wordt steeds meer kanaalcapaciteit (bandbreedte) gevraagd. Het gevolg is dat de frekwentiebanden in het gebied 15 – 40 GHz aangesproken zullen worden voor satellietcommunicatie. In deze banden zijn de signaalverstoringen die optreden door de atmosfeer (het weer) dermate ernstig dat de kwaliteit en beschikbaarheid van het communicatiekanaal geheel bepaald zullen worden door de effectiviteit van adaptieve methodes om deze propagatie–effecten (demping, storing, scintillatie, depolarisatie) te bestrijden.

De huidige systemen die gebruik maken van frekwenties benenden 15 GHz zijn ontworpen om, door een ingebouwde marge in signaal/ruis verhouding, niet meer dan 0.03 tot 0.3 % van de tijd uit te vallen. Daarom heeft ook het onderzoek van atmosferische propagatie zich in het verleden geconcentreerd op extreme effecten die een zeer lage kans van optreden hebben.

Nieuwe systemen die gebruik maken van millimetergolven zullen veelvuldiger "aangetast" worden door propagatie-verschijnselen. Om uitval te beperken, zullen allerlei adaptieve methoden geïmplementeerd worden om de effecten van deze propagatie-verschijnselen te beperken.

Voor de planning van dergelijke systemen is gedetailleerde kennis van de verschijnselen nodig in een zeer vroeg stadium. Deze kennis betreft niet alleen het optreden van extreme verschijnselen zoels zeer zware regenval maar ook en vooral het effect van verschijnselen die veel algemener zijn en

tot nu toe, gezien hun geringe effect op verbindingen bij lagere frekwenties, verwaarloosd werden. Hiervoor is propagatie onderzoek nodig vele jaren voordat de betreffende frekwenties in gebruik worden genomen. Om deze reden nam ESA al direkt vanaf het begin van het H–SAT programma (dat uiteindelijk leidde tot Olympus) een bakenzender–pakket op in het ontwerp van de satelliet die OTS op zou volgen in de exploratie van nieuwe telecommunicatiesystemen.

De missie van het "propagation package" is Europa te voorzien van een gemeenschappelijk hulpmiddel om aan de geschetste behoefte aan propagatie–gegevens te voldoen. In het verlengde van deze missie ligt de noodzaak om de verzamelde gegevens bijeen te voegen tot een echte Europese databank van statistieken die de planning van regionale satellietsystemen een gemeenschappelijke basis kan geven.

Tenslotte is het ontwerp van de bakenzenders ook gericht op het ondersteunen van meer fundamenteel onderzoek naar fysische modelvorming van de atmosfeer.

De bakenzenders

De zenders zijn speciaal ontworpen voor bovengenoemde "mission objectives". Drie zenders produceren lineair gepolariseerde, ongemoduleerde signalen via drie individuele hoornantennes. Deze signalen worden aangeduid met B0, B1 en B2.
Frekwentie– en signaalvermogen zijn in onderstaande tabel gegeven:

Baken	Frekwentie	EIRP
B0	12501.866 MHz	10 dBW
B1	19770.393 MHz	24 dBW
B2	29655.589 MHz	24 dBW

Het verzorgingsgebied van B0 is de gehele zichtbare aarde (fig.1). Het verzorgingsgebied van B1 en B2 is

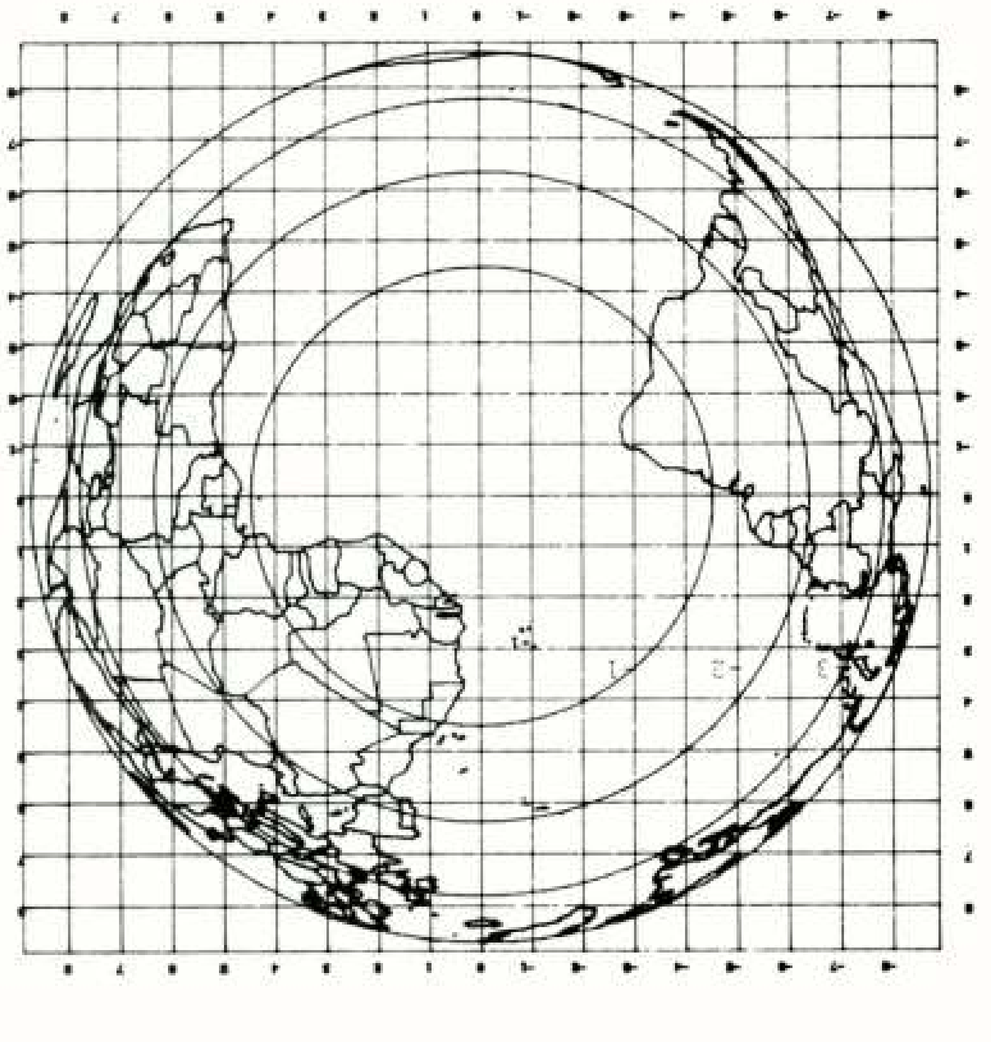


Fig. 1 Verzorgingsgebied B0

gespecificeerd als "het grondgebied van de lidstaten van ESA". De eis van stabiliteit van het ontvangen signaal heeft geleid tot een ontwerp waarbij een relatief brede satellietantennebundel wordt toegepast, met als gevolg dat ook de signalen B1 en B2 over een veel groter gebied ontvangen kunnen worden, zij het met verminderde sterkte en stabiliteit (fig.2).

Het blokschema van de zenders wordt in fig. 3 weergegeven. Alle zendsignalen worden afgeleid van een gemeenschappelijke oscillator via frekwentie–vermenigvuldiging. De B0 zender heeft een solid–state vermogensversterker als eindtrap; B1 en B2 worden met TWT versterkers met ca 1 W vermogen uitgezonden. Aan stabiliteit en spectrale zuiverheid van de signalen is grote aandacht besteed. Hierdoor is het mogelijk met zeer smalbandige PLL ontvangers (bandbreedte 25 tot 50 Hz) zeer nauwkeurige metingen van fading, kruispolarisatie en fasedraaiing uit te voeren met een dynamisch bereik van tientallen dB's.

Het 20 GHz B1 signaal wordt met een frekwentie van ca 1000 Hz geschakeld tussen twee orthogonale polarisaties. Hierdoor is het mogelijk op aarde een meting te doen van de gehele overdrachtsmatrix (2 copolaire en 2 kruispolarisatie-metingen), inclusief de relatieve fasedraaiïngen. Daarmee kan het gehele atmosferische transmissie-kanaal gekarakteriseerd worden, wat van groot belang is voor het modelleren van de processen die tot signaalverstoringen aanleiding geven.

De grondstations

De hoge EIRP (Effective Isotropically Radiated Power) en dus de hoge fluxdichtheid op aarde maken het mogelijk om betrekkelijk kleine grondstationantennes toe te passen. De gebruikte antennediameters variëren van 1 tot 6 m. Tabel 1 geeft een typisch voorbeeld van een "linkbudget" voor een propagatie-experiment. De belangrijkste conditie voor het bepalen van de grondstation-eisen is die waarbij de PLL "uit lock valt". Het dynamisch bereik is gedefiniëerd als de signaalverzwakking die gemeten kan worden tot aan deze drempel. Door verder filteren van het gedetecteerde signaal tot bandbreedtes in de orde van 1 Hz kunnen tot aan de PLL drempelwaarde nauwkeurige niveau- en fasemetingen gedaan worden.

Zoals reeds aangeduid, vormen meting van kruispolarisatie en differentiële demping tussen twee polarisaties een belangrijk onderdeel van het meetprogramma. Voor deze metingen zijn stabiliteit en nauwkeurige calibratie van de ontvangketens voor beide polarisaties in het grondstation een eerste vereiste.

Een kompleet grondstation dat alle bakensignalen meet en de benodigde ondersteunende metingen, zoals radiometer-metingen en meteorologische observaties, uitvoert, levert een vijftigtal informatiekanalen met sample-frekwenties variërend van 0.1 tot 10 Hz.

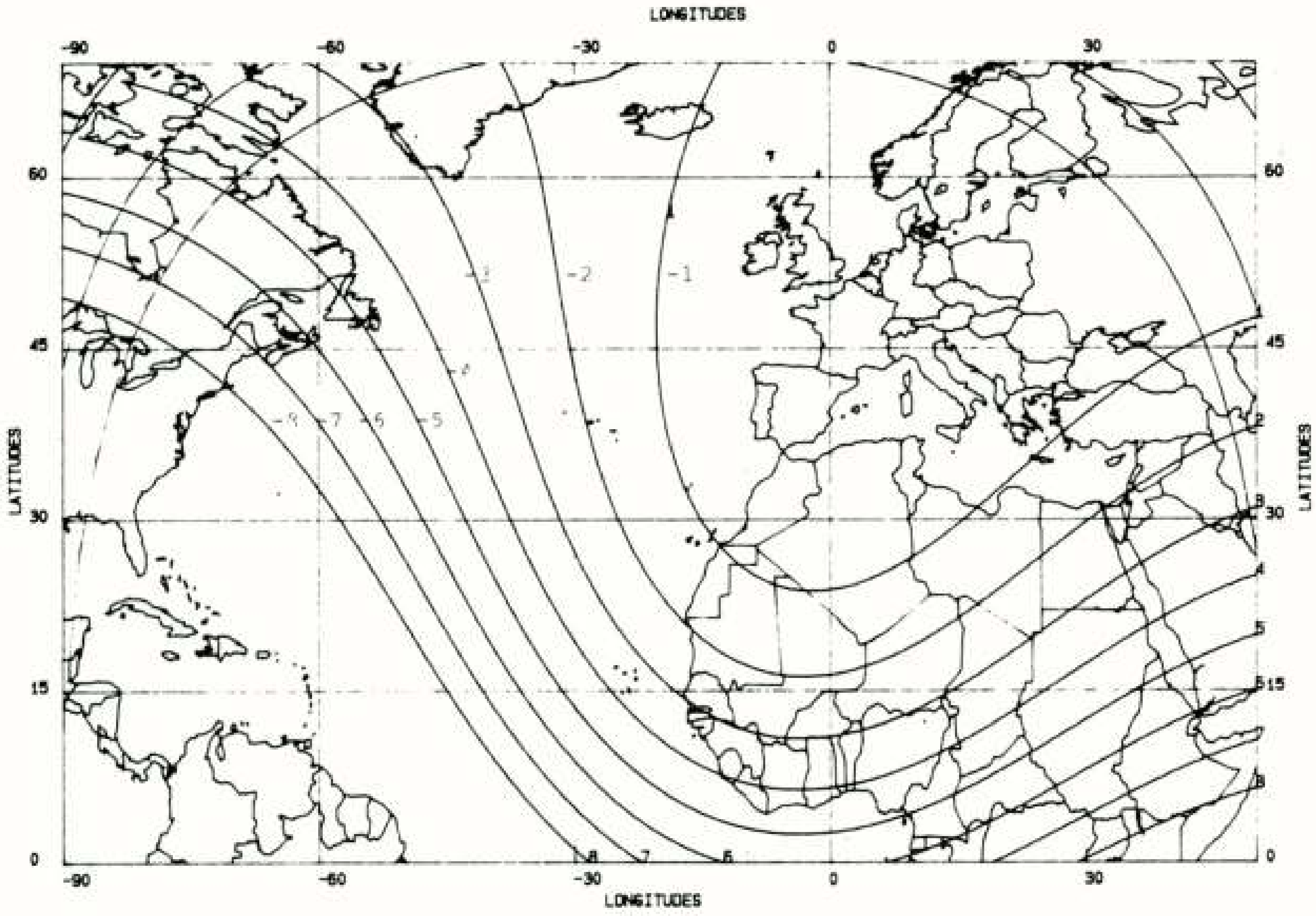


Fig. 2 Verzorgingsgebied B1 / B2

3.Het OPEX project

Achtergrond

Europa heeft een respectabele voorgeschiedenis voor wat betreft de samenwerking op het gebied van radio-propagatieonderzoek. Projecten van samenwerking in het analyseren van statistische gegevens worden al sinds 1969 uitgevoerd in het kader van het COST (Cooperation Scientifique et Technique) van de Europese Commissie.

Internationale campagnes van propagatiemetingen met satellieten werden uitgevoerd met de NASA satelliet ATS–6 in 1976 en met de Europese satelliet OTS in de periode 1978 – 1983. Nauwe samenwerking tussen betrokken radio-wetenschappers en gemeenschappelijke publikaties van resultaten vooral ten behoeve van internationale organisaties zoals ESA, Eutelsat en de International Telecommunication Union, waren zichtbare resultaten.

In eerste instantie betrof de samenwerking de gemeenschappelijke analyse van individuele statistische resultaten.In het project COST 205 strekte de samenwerking zich reeds uit tot het gemeenschappelijk verwerken van meetgegevens. Daarbij werd al sterk de behoefte gevoeld om de metingen zelf aan kwaliteitseisen te onderwerpen en de procedures voor acquisitie, opslag en verwerking van gegevens te standaardiseren. Dit inzicht leidde tot het ontstaan van het OPEX project waar alle fasen van het onderzoek beschouwd werden in een gemeenschappelijk kader.

Organisatie

Reeds in 1980 organiseerde ESA bijeenkomsten van geïnteresseerde onderzoekers om de specificaties van de bakenzenders te bespreken in samenhang met de doelstellingen van propagatieonderzoek voor de tachtiger jaren in het algemeen en de eisen en specificaties van grondstations in het bijzonder. Dit leidde allengs tot een permanent gespreksforum, uitmondend in het oprichten van een officiëel samenwerkingsproject onder de naam OPEX. Deelname aan OPEX is open voor alle organisaties die in het Olympus propagatie-experiment geïnteresseerd zijn.

Binnen OPEX werden drie werkgroepen opgericht:

W.G.1: Grondstation–eisen
Voorz.: S.K. Barton (Signal Processors, Cambridge)

W.G.2: Data-acquisitie en -voorbewerking
Voorz.: Ir. F. Zelders / Ir. A. Mawira (PTT–RNL)

W.G.3: Data analyse
Voorz.: Prof. A. Paraboni (Politecnico di Milano)

Gemiddeld werden twee plenaire vergaderingen per jaar gehouden, soms met een tussentijdse vergadering van een werkgroep. Veel voorbereidend werk werd verricht tussen de vergaderingen. Een 40–tal onderzoeksinstituten heeft actief deelgenomen aan dit werk.

Resultaten.

De conclusies van de werkgroepen zijn vastgelegd in een drietal handboeken voor het Olympus experiment, waarin de eisen voor de kwaliteit van de metingen en de procedures voor de gegevensverwerking zijn gespecificeerd. Op verschillende gebieden werden belangrijke aanbevelingen gedaan voor standaardisatie, om de uitwisselbaarheid van de gegevens te waarborgen. Het succes van dit gemeenschappelijke werk deed ESA besluiten tot het ontwikkelen van een software systeem ten behoeve van het propagatie–experiment waarin al deze aanbevelingen verwerkt zijn. Het systeemontwerp voor dit pakket van standaardsoftware werd ontwikkeld door Siemens

Oostenrijk A.G. an CSR Ltd (UK). Inmiddels is de produktie van de software in uitvoering genomen door Siemens Oostenrijk. Levering is voorzien medio 1990.

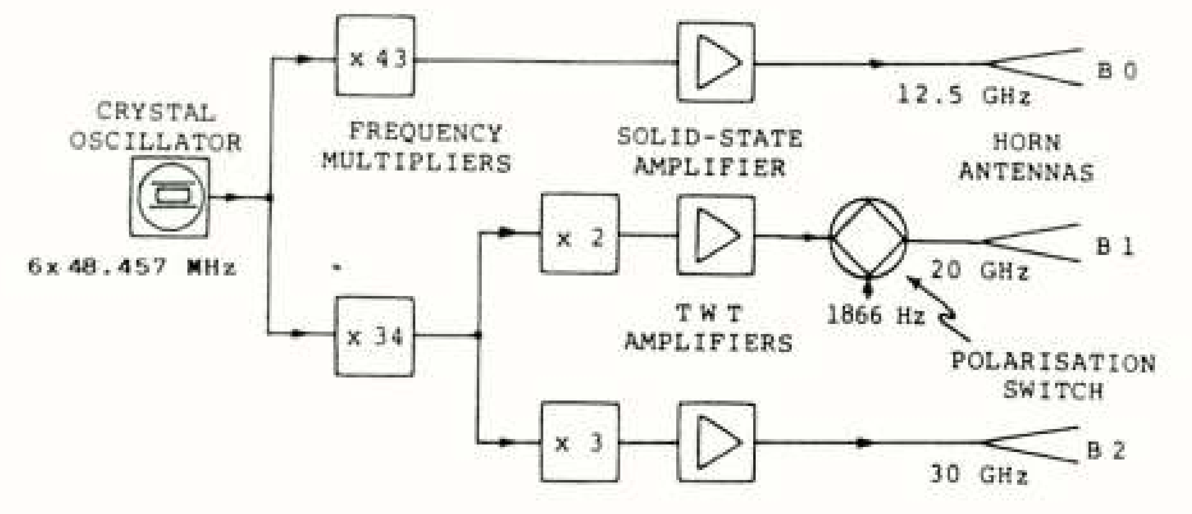


Fig. 3 Blokschema van de zenders

4. Het gestandaardiseerde verwerkingssysteem.

Het verwerkingssysteem gaat uit van een invoer–"file" van gegevens waarin naast de signaalregistraties ook alle specifieke apparatuurgegevens in een standaard formaat zijn vastgelegd.

Gegevensverwerking geschiedt in twee fasen. In de voorbewerking- en calibratiefase worden de invoergegevens geconverteerd naar gecalibreerde waarden in fysische eenheden. Apparatuurfouten en onderbrekingen worden hersteld of met "vlaggen" gemarkeerd. De procedures hiervoor zijn zeer nauwkeurig omschreven om te voorkomen dat de verwerking en daarmee de kwaliteit van de gegevens gebruiker-afhankelijk wordt. De voorbewerkingsfase levert als eindprodukt een z.g. "Standard Event File" (SEF) op die de basis vormt voor uitwisseling van meetgegevens en ook de interface is voor de

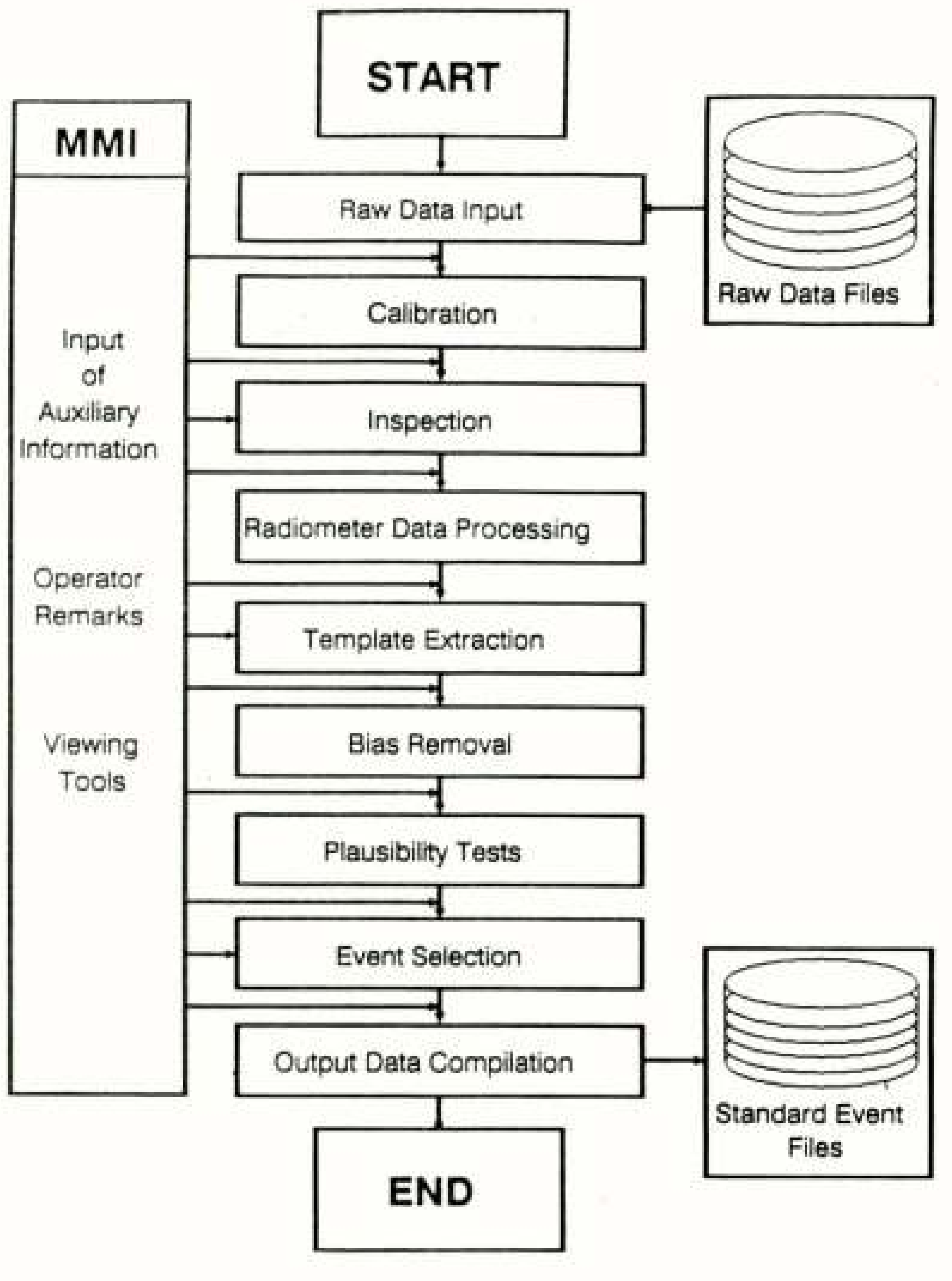


Fig. 4 Voorbewerking

tweede fase, die van de statistische analyse. Tegelijkertijd wordt een "Journal File" aangemaakt waarin alle uitgevoerde bewerkingen worden vastgelegd.

De tweede fase is die van de analyse van de SEF gegevens. Dit betreft een groot aantal statistische analyses van individuele parameters of combinaties van parameters. Figuren 4 en 5 geven schematisch de organisatie van beide fasen weer. Uitwisseling van gegevens middels de SEF zal uitsluitend op bilaterale basis tussen individuele onderzoekers plaatsvinden. Er is geen gecentraliseerde opslag of verwerking voorzien; dit om de belangen van de individuele deelnemers te respecteren.
Het software–pakket zal aan alle deelnemers ter beschikking gesteld worden. Deze zullen de met dit pakket verkregen "OPEX-statistieken" beschikbaar stellen voor het opbouwen van een Europese database van statistieken van propagatieverschijnselen.

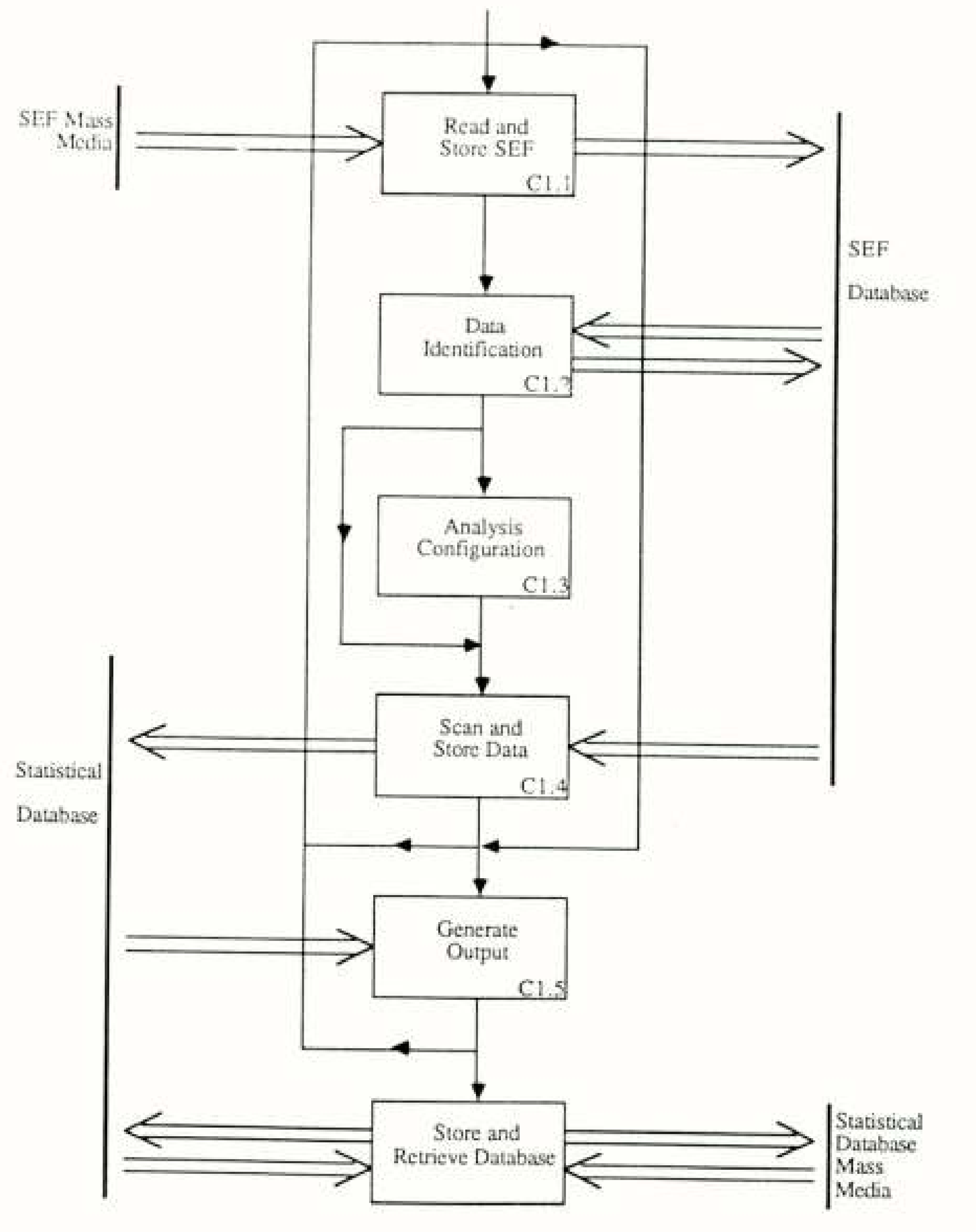


Fig. 5 Analyse

5. Conclusie

Dank zij de enthousiaste vrijwillige medewerking van een groot aantal onderzoekers in Europa is een samenwerkingsverband tot stand gekomen waarbinnen veel werk is verzet voor de voorbereiding van de propagatie–experimenten met de Olympus satelliet. Door de medewerking van ESA zal dit leiden tot de produktie van een pakket software waarmee een unieke database van statistische gegevens kan worden opgebouwd. Deze gegevens

zullen de basis zijn voor de bestudering en ontwikkeling van nieuwe nationale en Europese satelliet-communicatiesystemen in de 20 en 30 GHz band.

	B0	B1	B2
1. Grondstation			
Antenne (dB)	48.9	52.9	56.4
Ruisgetal (dB)	7	8	8
Ruistemp. (dBK)	31.6	32.6	32.6
G/T (dB/K)	17.3	20.3	23.8
2. Verbinding			
EIRP (dBW)	10	24	24
Path loss (dB)	207.5	211.5	215.0
G/T (dB/K)	17.3	20.3	23.8
C/No (dB)	48.4	61.4	61.4
C/N in 50 Hz	31.4	41.4*)	44.4
PLL drempel (dB)	10	10	10
Fading marge (dB)	21.4	31.4	34.4
3. Uitgang ontvanger			
C/N in 0.5 Hz (dB)	51.4	58.4	61.4
C/N (drempel, dB)	30	30	30
Fase meetfout (^{0})	1.2	1.2	1.2
Ampl. meetfout (dB)	0.2	0.2	0.2

*) 3 dB verlies tgv schakelen v.d. polarisatie

Tabel 1. Link budgets

Voordracht gehouden tijdens de 367e werkvergadering.

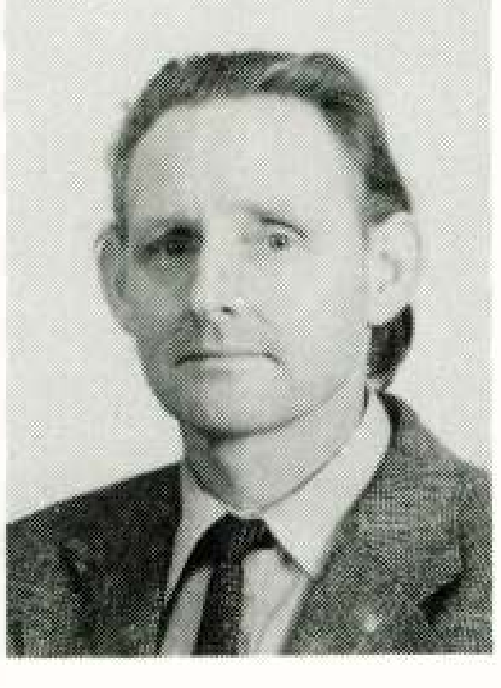
NEDERLANDS ELEKTRONICA- EN RADIOGENOOTSCHAP
(367ste werkvergadering)
IEEE BENELUX SECTIE
AFDELING TELECOMMUNICATIE KIVI

UITNODIGING

voor de lezingenmiddag op **woensdag 10 mei 1989** in de **gehoorzaal van het PTT Research Neher Laboratorium**, St. Paulusstraat 4 te Leidschendam.
THEMA:
„NEDERLANDSE EXPERIMENTEN MET DE OLYMPUS SATELLIET."



L. P. LIGTHART



J. DIJK

PROGRAMMA:

12.15-13.15 uur:	Lunch.
13.30-13.40 uur:	Opening door voorzitter NERG, en **IR. F. ZELDERS** (Research Neher Laboratorium).
13.40-14.00 uur:	**PROF. DR. IR. G. BRUSSAARD**, (TU-Eindhoven); „OVERZICHT VAN HET OLYMPUS-PROGRAMMA."
14.00-14.30 uur:	**PROF. DR. IR. L. P. LIGTHART**, (TU-Delft); „RADAR ONDERZOEK MET 'SOLIDAR' EN 'DARR' BIJ DE TU-D."
14.30-15.00 uur:	Thee.
15.00-15.30 uur:	**IR. J. R. SCHMIDT**, (Research Neher Laboratorium); „HET 'SITE-DIVERSITY' EXPERIMENT BIJ RNL."
15.30-16.00 uur:	**IR. J. DIJK**, (TU-Eindhoven); „12/20/30 GHZ PROPAGATIE ONDERZOEK BIJ DE TU-E."
16.15-17.00 uur:	Drankje.

Aanmelding voor de lezingen dient te geschieden vóór 2 mei door middel van de aangehechte kaart **gefrankeerd** met **55 cent**. Reservering voor de lunch vindt slechts plaats als vóór 2 mei een bedrag van *f* 15,00 is ontvangen op de postrekening 94746 t.n.v. Penningmeester NERG, Leidschendam, onder vermelding van „OLYMPUS". NERG,-IEEE,-KIVI-leden en studenten hebben gratis toegang. Tevens kunnen studenten de helft van de vervoerskosten vergoed krijgen (openbaar vervoer of anders, gezamenlijk, mits goedkoper).
Niet-leden dienen een entree-prijs van *f* 15,00 te betalen. Deelnemers dienen de uitnodigingskaart mee te nemen en op verzoek te tonen bij de toegang tot het Neher Laboratorium.

Namens de samenwerkende verenigingen,
IR. N. H. G. BAKEN, NERG.
070-436482

Leidschendam, april 1989.

TU-DELFT RADAR ONDERZOEK MET "DARR" en "SOLIDAR"

Prof. Dr. Ir. L.P. Ligthart, Ir. L.R. Nieuwkerk, Ir. J.S. v. Sinttruyen
Technische Universiteit Delft, Faculteit Electrotechniek
Mekelweg 4, 2628 CD Delft

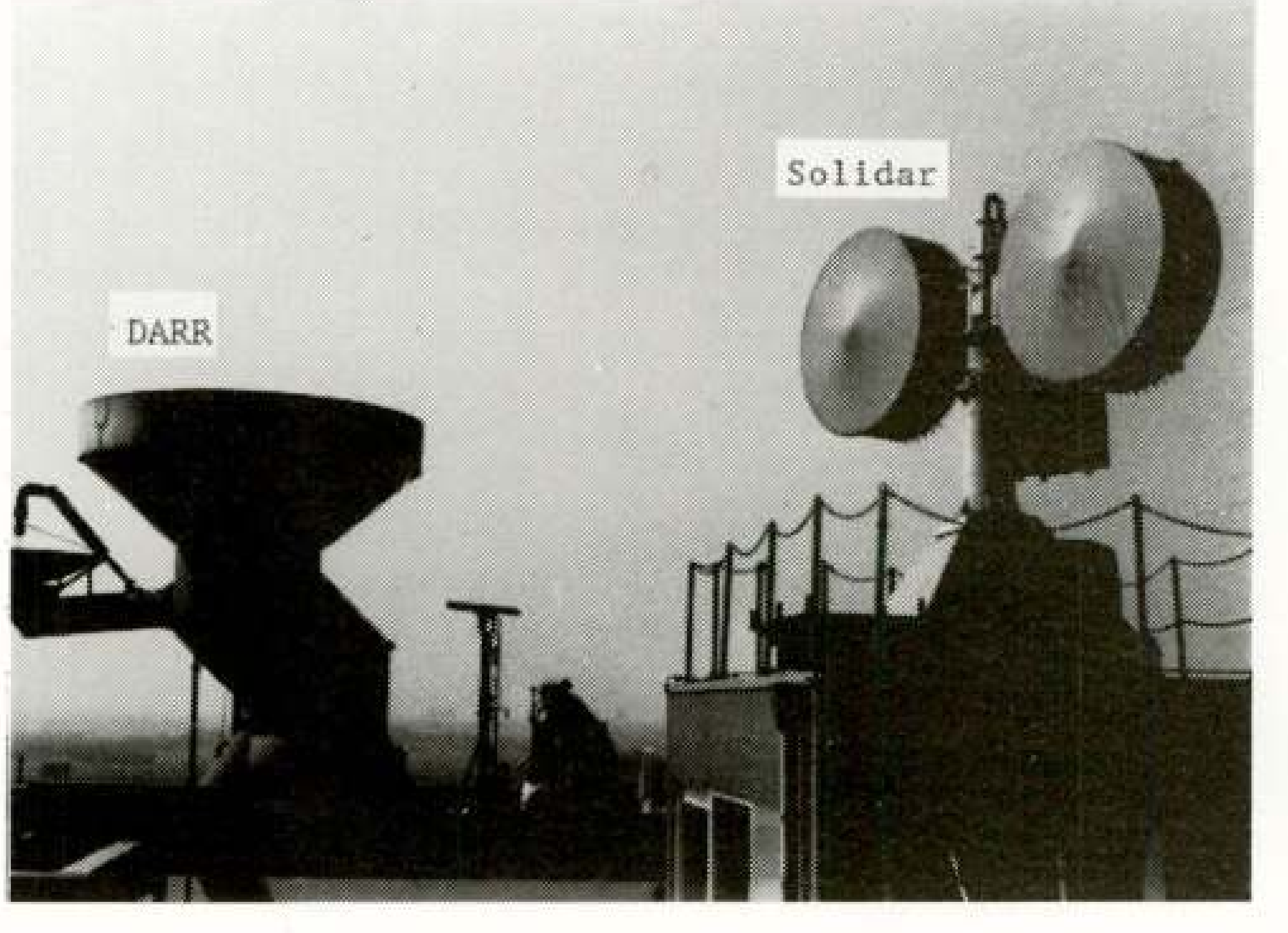
Radar research with "DARR" and "Solidar" at the Delft University of Technology.
Satellite communication using the newer 20 and 30 GHz bands will be influenced by heavy rain showers. To study optimal site-diversity configurations in order to obtain uninterrupted communication, a propagation experiment has been set up in close cooperation with the Netherlands PTT Research NeherLaboratory. In the experiment use is made of the European Space Agency's Olympus satellite, launched at july 12, 1989. The Delft research theme concerns FM-CW radar probing of the atmosphere. The Delft Doppler-polarimetric S-Band high resolution radar DARR investigates the hydrometeors (type, particle size distribution and their place- and time dependency) along the satellite path. The FM-CW weather-surveillance-radar SOLIDAR (Solid State Radar) was developed and constructed by using the knowledge obtained from DARR and establishes the rainintensity and shower geometry during rain events in a range of about 15 km around Delft. Both radars are situated on the roof of the Electrical Engineering Department building of Delft University and introduce a new generation FM-CW multi-parameter radar. In this paper the potentials of both radars are described in the frame of the Netherlands Coordination for Olympus Propagation (NCOP) experiments.

1. Inleiding: Doel en opzet van het Olympus project

Momenteel worden in de satellietcommunicatie hoofdzakelijk de frequentiebanden tot ongeveer 14 GHz gebruikt. Door de vraag naar satelliettransmissie-capaciteit zullen in de toekomst nieuwe gebruikte frequentiebanden voor satellietcommunicatie in gebruik worden genomen. Deze frequentiebanden liggen onder andere in de 20-30 GHz band.

Bij deze hoge frequenties ondervinden de radiogolven veel hinder van het medium waarin zij zich voortplanten. Gebleken is dat radiogolven worden verstrooid en gedempt als gevolg van hydrometeoren (regen, hagel, sneeuw, mist, wolken). Bovendien kan een verandering van de polarisatierichting van de radiogolven optreden.

Door European Space Agency is op 12 juli 1989 een experimentele satelliet gelanceerd, genaamd "Olympus". Hiermee wordt het mogelijk de invloed van hydrometeoren op de propagatie van radiogolven te onderzoeken. Olympus heeft naast operationele taken ook mogelijkheden voor experimentele aktiviteiten varierend van zakelijk verkeer tot propagatie onderzoek. Voor propagatie onderzoek is deze satelliet uitgerust met onder andere 12, 20 en 30 GHz bakens. Naar aanleiding van dit onderzoek is het mogelijk propagatie modellen op te stellen voor radiogolven in de frequentieband van 20 - 30 GHz. Propagatiemodellen in deze frequentieband zijn belangrijk bij systeemplanning ten behoeve van nieuw aan te leggen radiocommunicatieverbindingen.



Het PTT Research NeherLaboratorium, de TU-Delft (Faculteit der Elektrotechniek) en de TU-Eindhoven (Faculteit der Elektrotechniek) nemen deel aan een gezamenlijk opgezet onderzoekprogramma. Dit onderzoekprogramma betreft:

- demping- en kruispolarisatie-metingen bij 12, 20 en 30 GHz met grondstations,
- het "Site-Diversity" experiment,
- bepaling van de "fijnstructuur" van neerslag.

De TU-Delft neemt deel aan zowel het "Site-Diversity" experiment als aan de bepaling van de "fijnstructuur" van de neerslag.

Door de TU-Delft vakgroepen Telecommunicatie- en Verkeersbegeleidingssystemen en Telecommunicatie- en Tele-observatietechnologie wordt in samenwerking met het PTT-RNL deelgenomen aan het "Site-Diversity" project. Dit project is onderdeel van het Nederlandse Olympus propagatie-onderzoek. In het project moet ondermeer worden onderzocht in welke mate neerslag, zoals regen, hinder veroorzaakt op satellietcommunicatie in de 12-20-30 GHz banden. Door toepassing van meer dan één grondstation ("Site-diversity") kan de hinder verminderd worden. Onderzocht dient te worden op welke afstand de grondstations geplaatst moeten worden. Het "Site Diversity" project maakt hiervoor o.a. gebruik van de Delft Atmospheric Research Radar DARR en van de Delft Solid State rondzoekradar Solidar beiden gebaseerd op het FM-CW principe. Met DARR worden Doppler-polarisatie metingen verricht aan de hydrometeoren (regen, sneeuw, hagel etc.) die zich bevinden op het Delft-Olympus satellietpad en met de rondzoekradar kan door het verrichten van reflectiviteitsmetingen onderzoek gedaan worden aan regenbuien.
DARR wordt besproken in hoofdstuk 2 en Solidar in hoofdstuk 3. Eerste metingen worden getoond in hoodstuk 4.

DARR en Solidar zijn gerealiseerd in de projectgroep "RADAR" van TU-Delft. Onderzoeksterreinen van deze projectgroep betreffen:

- signaaldetectie,
- signaal codering,
- matched filtering,
- resolutie,
- nauwkeurigheid,
- Doppler,
- polarimetrie,
- dubbelzinnigheden,
- signatuur,
- "real-time" signaal bewerking,
- visualisering,
- componenten,
- antennes,
- subsystemen,
- toepassingen.

Vooral radartoepassingen en realisaties hebben de aandacht. Activiteiten zijn geconcentreerd op:

- radarpropagatie-onderzoek t.b.v. satellietcommunicatie boven 10 GHz,
- solid state radarsystemen,
- radarverkeersbegeleidingssystemen,
- air-borne radar,
- integratie van communicatie in radarsystemen.

De nu operationele DARR en Solidar radars en de inzet van beide radars in het propagatie-onderzoek staan in deze publicatie centraal.

2. De Delft Atmospheric Research Radar (DARR).

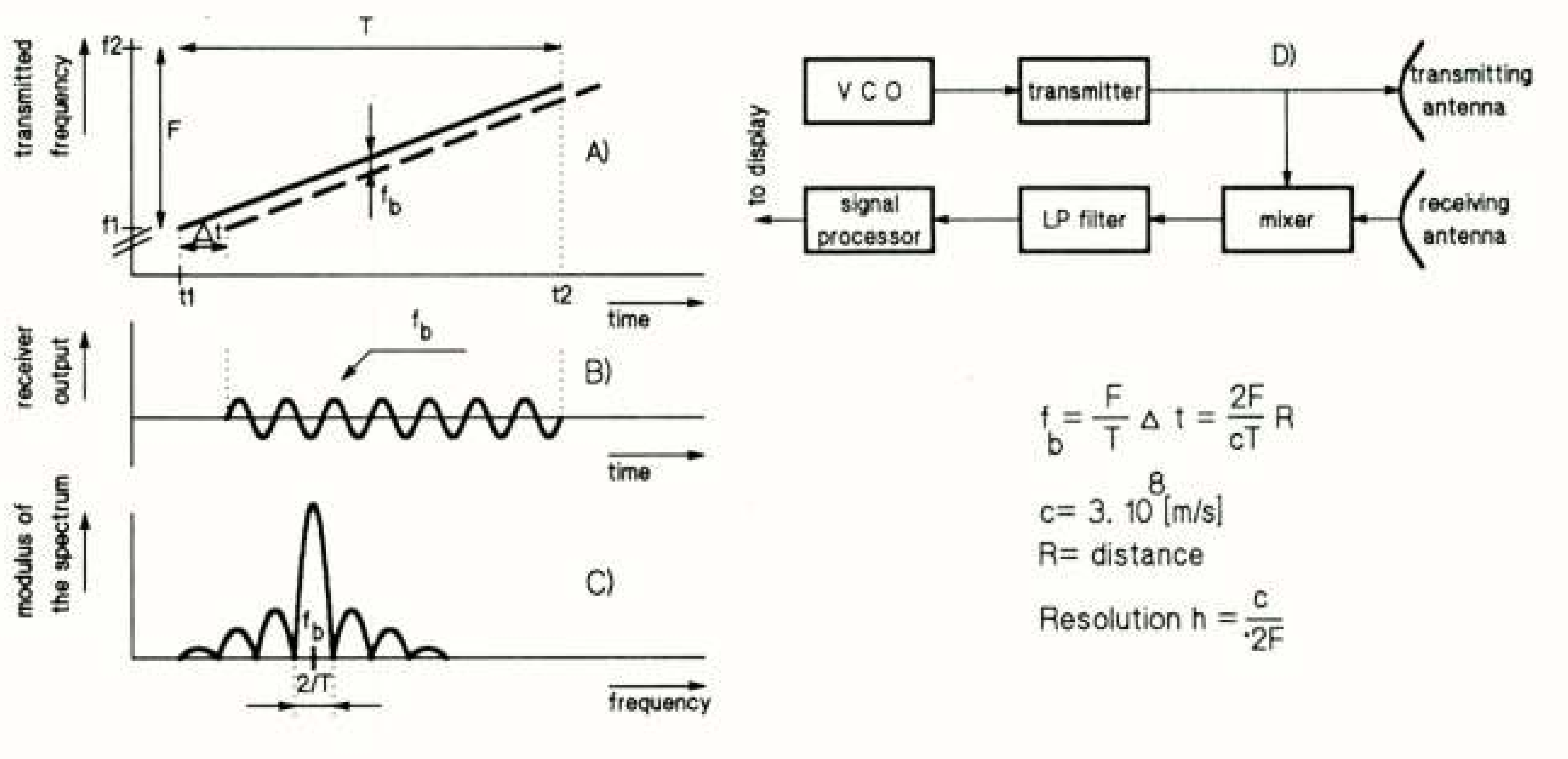
2.1 Inleiding.

Sinds 1979 is een research radar operationeel bij de Technische Universiteit te Delft. De radar is opgesteld op het dak van de hoogbouw van de Faculteit der Elektrotechniek en werd tot nu toe hoofdzakelijk gebruikt voor onderzoek aan de atmosfeer ten behoeve van radiopropagatie studies. De radar werd daarom Delft Atmospheric Research Radar (DARR) genoemd.
Het concept van de radar is zodanig dat op betrekkelijk eenvoudige wijze modificaties in zowél hard- als software aan te brengen zijn, waardoor de radar aan nieuwe gewenste opties aangepast kan worden. Het is momenteel in principe mogelijk naast amplitude en fase van reflecties, ook Doppler en polarisatie informatie van doelen uit de ontvanger signalen te extraheren; met andere woorden DARR is een all-parameter radar.

2.2 Principe van DARR.

2.2.1 FM-CW.

De Delft Atmospheric Research Radar maakt gebruik van het Frequency Modulated Continueous Wave (FM-CW) principe. In Figuur 1 is het principe van de FM-CW radar weergegeven alsmede een vereenvoudigd blokschema.



Figuur 1. FM-CW radar principe. A) zendsignaal (____), ontvangsignaal (---), B) beatsignaal, C) spectrum, D) blokschema.

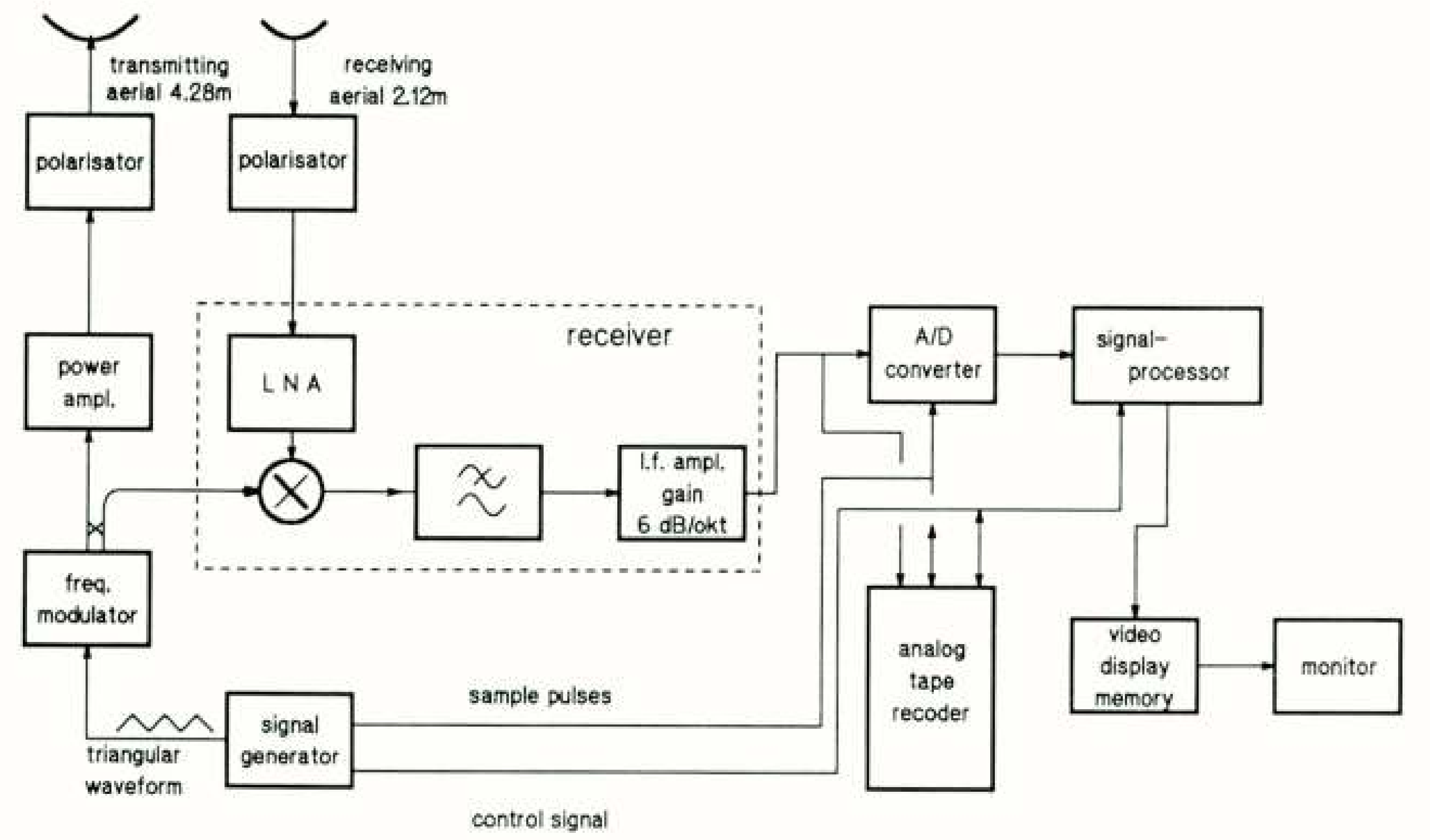
Een reflectie wordt aangenomen op een afstand R van de radar. Het ontvangen signaal wordt in tijd vertraagd met $\Delta t = (2R)/c$. In het geval van FM-CW heeft het zendsignaal een constante amplitude en een frequentie, die lineair over een tijd T toe- dan wel afneemt van frequentie f1 tot f2. De frequentiezwaai F=f2-f1. Door gebruik te maken van een mixer en een laagdoorlatend filter kan het verschilfrequentie signaal, ook wel "beatsignaal" genoemd, bepaald worden. De amplitude van dit laagfrequente signaal is een maat voor de grootte van de reflectie en de frequentie fb van dit laagfrequente signaal een maat voor de afstand R, waarbij $fb = (F.\Delta t)/T = (2R.F)/(c.T)$.

In de ontvanger worden de verliezen tengevolge van de ruimtelijke uitbreiding van de radargolven gecorrigeerd door een gainfunctie van 6 dB per oktaaf, aannemende "volume backscattering".
De frequentie en amplitude van het beatsignaal kan verkregen worden door het bepalen van het frequentie spectrum van het beatsignaal. Dit spectrum is voor een puntdoel een SI-functie, tengevolge van de eindige duur van de frequentiezwaai.
In geval van meerdere reflecties is de resolutie een belangrijk gegeven. De resolutie kan bepaald worden door aan te nemen dat een tweede puntdoel een spectrum tengevolge heeft met zijn maximum op de eerste nul van het spectrum van het eerste puntdoel. Af te leiden is dat de resolutie h gelijk is aan c/(2F). De resolutie is dus alleen afhankelijk van de gebruikte modulaat bandbreedte.
Doppler snelheden kunnen voor iedere afstands cel gemeten worden door de verandering van de fase van het beatsignaal van frequentie zwaai tot frequentie zwaai te meten. De snelheid van fase verandering is de radiale Doppler frequentie verschuiving.
Het FM - CW principe is gekozen in plaats van pulsradar vanwege de volgende voordelen:
FM - CW radar is een coherent radar systeem. Bewezen kan worden dat het zich nagenoeg gedraagt als een "matched" filter, waardoor het over een grote gevoeligheid beschikt. Het zendvermogen is constant en laag, de radar is hierdoor "solid state" te bouwen. Het heeft een minimum afstandsbereik van minder dan 100 meter en een hoge afstandsresolutie.
Verder geldt nog dat de bandbreedte van het ontvangen signaal klein is, zodat het signaal gelijk kan worden toegevoerd via een analoog digitaal converter aan de signaal-processor. Er is dan nog steeds geen informatie verloren gegaan betreffende het radardoel.

Een nadeel van een FM - CW radar is de grote isolatie die nodig is tussen zender en ontvanger. Dit om te voorkomen dat de ontvanger wordt verzadigd door de zender. Daarnaast worden hoge faseruis en stabiliteitseisen aan de lineaire FM-bron gesteld.

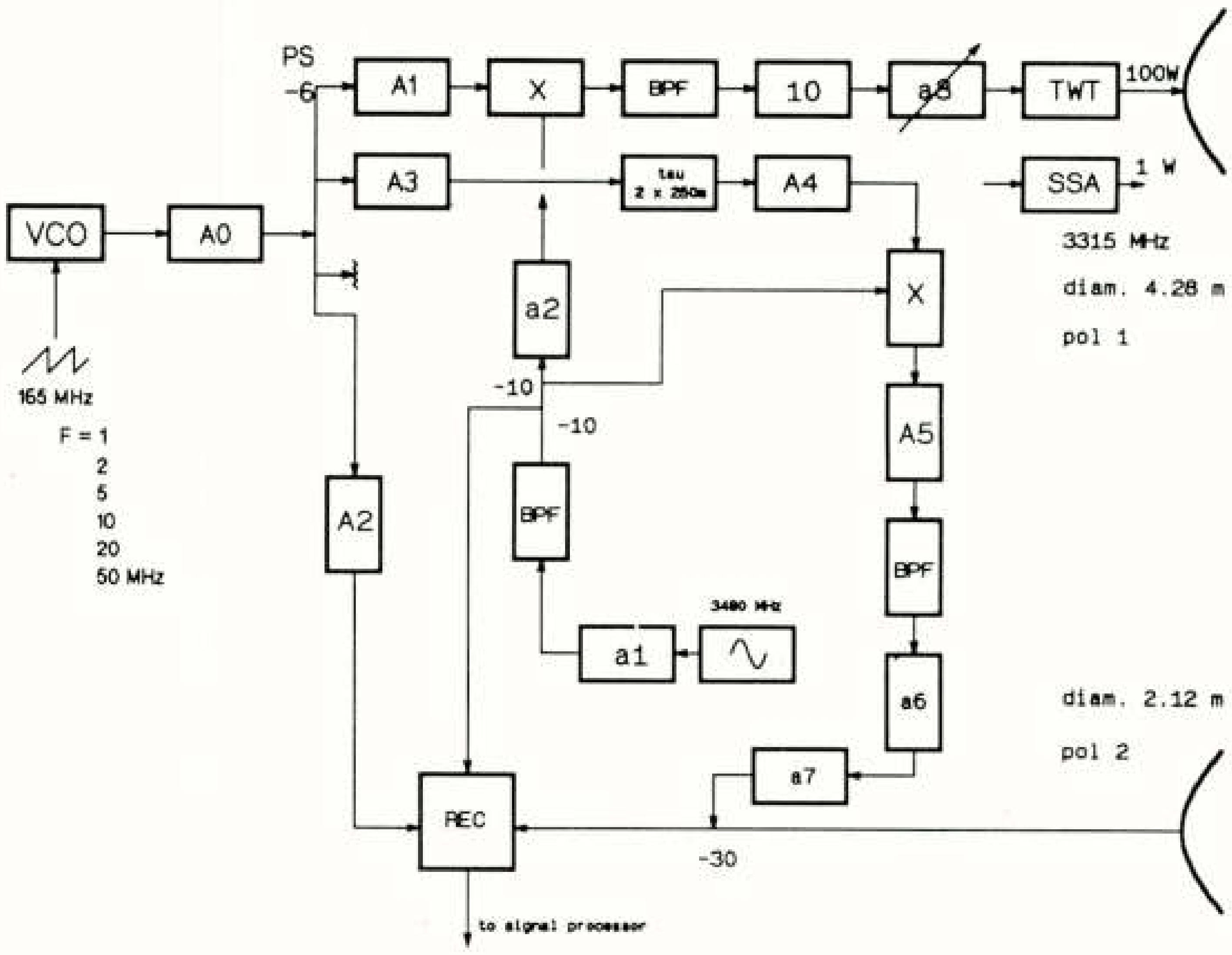
2.2.2 **Polarisatoren.**
In DARR bestaat een polarisatie meetoptie. In zowel de ontvang als de zendweg zijn polarisatoren ingebouwd. Het zijn polarisatoren, waarmee de polarisatiehoek met een frequentie van 25 Hz van maximum -90 tot +90 graden doorlopen kunnen worden. De fase van de sinusvormige sturing van zowel de zend- als ook de ontvang polarisator kan willekeurig worden ingesteld. In een volgend hoofdstuk wordt nader op de werking van de polarisatoren ingegaan.

2.3. <u>Opbouw van DARR.</u>
In Figuur 2 is een overzicht gegeven van de DARR installatie. In deze figuur zijn antennes, zender en ontvanger, signaal generator, signaal bewerkings apparatuur en data opslag te onderscheiden. Op ieder van deze delen wordt nader ingegaan.
De signaal generator levert alle signalen benodigd voor de coherente werking van de radar, zoals:
- Zaagtand of driehoek golfvorm voor sturing van de frequentie modulator.
- Bemonstersignalen voor de analoog-digitaal converter.
- Timing signalen ten behoeve van coherente registratie van meetdata op de instrumentatie recorder.



Figuur 2. DARR installatie, overzichtsschema.

Het stuursignaal (b.v. zaagtand) moduleert de frequentiemodulator. Na "upconversion" en versterking wordt het signaal verzonden op een centrale frequentie van 3.315 GHz. Een deel van het uit te zenden signaal wordt in een mixer gemengd met het via een LNA versterkte en van de ontvangst antenne afkomstige signaal. Hierna wordt het verschil signaal uitgefilterd en versterkt, waarbij in de hardware gecompenseerd wordt voor de afstands afhankelijke demping ten gevolge van de ruimtelijke uitbreiding van de radargolven in geval van volume scattering.

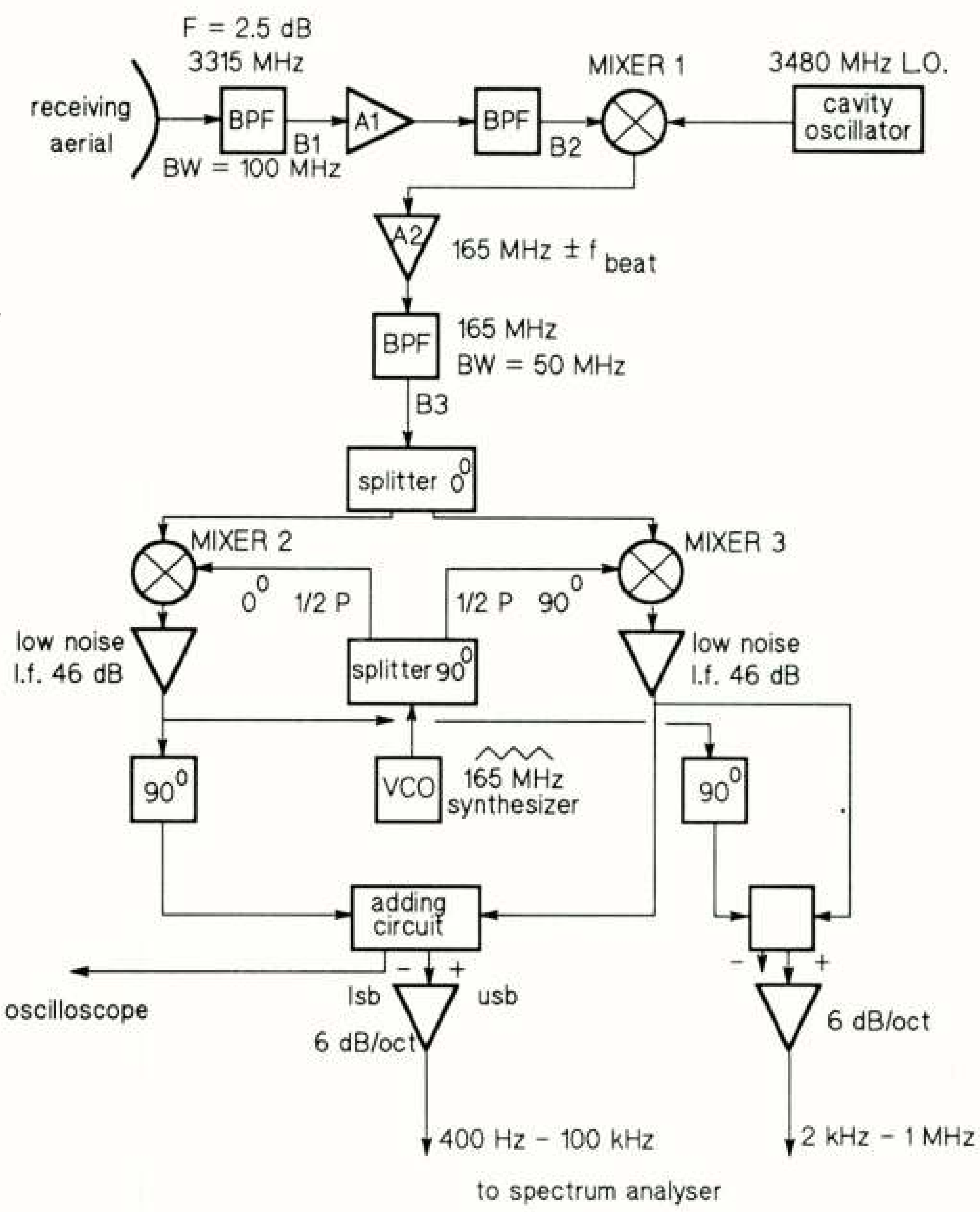


Figuur 3. Blokschema DARR zendinstallatie.

Het radar signaal kan hierna toegevoerd worden aan een signaal processor om de ontvangen data te visualiseren en kan ook op een analoge instrumentatie recorder opgenomen worden voor latere bewerking. Voor deze latere bewerking is een off-line computer systeem ter beschikking. De te bewerken data dient dan van de analoge instrumentatie recorder overgezonden te worden naar het off-line computer systeem.

2.3.1. **Antennes.**

Zoals reeds eerder vermeld wordt in DARR voor de zend- en ontvangweg gescheiden antennes voorzien van "rims" gebruikt om de noodzakelijke isolatie tussen zender en ontvanger te bereiken. Beide antennes, de zendantenne met een diameter van 4.28 m en de ontvang antenne met een diameter van 2.12 m zijn gezamelijk bevestigd op een mount met een geinclineerde as. De antennes kunnen iedere richting van -5 tot 90 graden elevatie innemen. De draaisnelheden van de assen zijn 0.01 tot 20 graden per minuut voor de elevatie en 0.01 tot 36 graden per minuut voor de azimuth as. De instel nauwkeurigheid is 0.02 graden.



Figuur 4. Blokschema DARR ontvanginstallatie.

2.3.2 **Zend- en ontvang schakeling.**

In Figuur 3 is een blokschema van de DARR zender schakeling en in Figuur 4 de DARR ontvanger meer in detail gegeven.

Als signaalbron wordt een gelineariseerde varactor oscillator werkend op een centrale frequentie van 165 MHz gebruikt. De frequentie zwaai is instelbaar op 1, 2, 5, 10, 20 en 50 MHz, hetgeen resulteert in resoluties van respectievelijk 150, 75, 30, 15, 7.5 en 3 meter. Er kan gekozen worden uit een zaagtand- of driehoekvormige modulatie, waarvan de periode instelbaar is tussen 0.625- 640 ms. Het middenfrequente modulaat wordt via vermogens aanpassingen toegevoerd aan:

a. - Een "upconverter", die gestuurd wordt door een faseruis arme cavity oscillator werkend op 3480 MHz. Na banddoorlaat filtering wordt het signaal met een centrale frequentie van 3315 MHz toegevoerd aan de zendtrap. Er is een keuze mogelijk tussen een TWT versterker met een zendvermogen van 100 W, dan wel een solid-state versterker met een zendvermogen van 1W.

b. - Een vertragingslijn bestaande uit 2 secties van ieder 250 m lengte (looptijd per sectie circa 1.25 micro seconde), waarmee een kunstmatige reflectie op een gedefinieerde afstand gerealiseerd kan worden ten behoeve van relatieve ijking en monitoring.

c. - De ontvanger tesamen met het uit de ontvangantenne en ijklijn afkomstige signaal voor het opwekken van het beatsignaal.

In de ontvanger wordt op de middenfrequentie van 165 MHz de uit de radar afkomstige signalen, door menging met signalen uit de VCO en door fase draaiing van 90 graden, de boven en onder zijband gedemoduleerd. Via naar keuze uit twee 6 dB/okt. versterkers met verschillende bandbreedtes wordt het gedemoduleerde signaal naar de analoog-digitaal converter gevoerd voor digitalisering en ter verdere bewerking in de signaal processor.

2.3.3. **Polarisator.**

In zowel de zend- als ontvangantenne is vlak voor de primaire belichter een polarisator gemonteerd. Figuur 5 toont een opengewerkte tekening van de gebruikte polarisator. Deze polarisator is op Technische Universiteit Delft ontwikkeld.

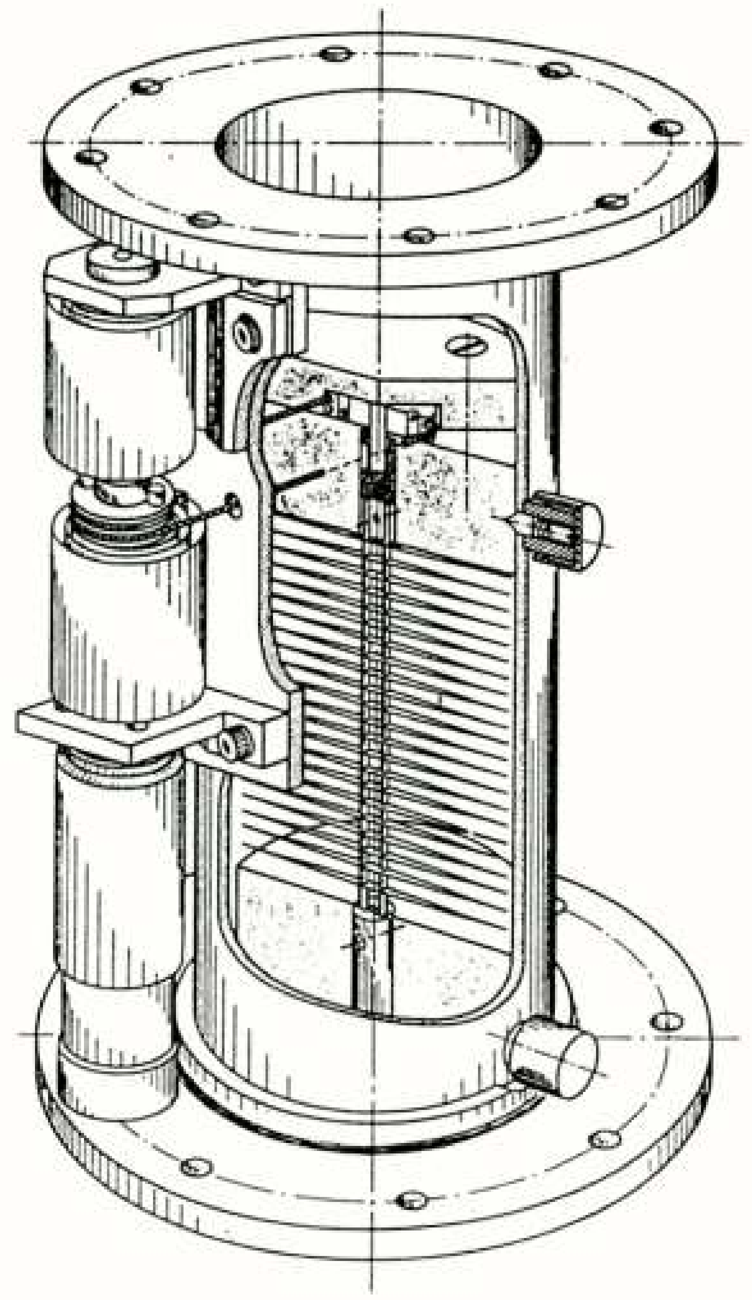
De polarisator bestaat uit een aantal dunne elektrisch geleidende vaantjes, die samengehouden worden door twee draden in het midden van de vaantjes. Daar de vaantjes elektrisch geleidend zijn staat het elektrische veld loodrecht op de richting van de vaantjes. Aan de bovenkant worden de vaantjes mechanisch door een motertje aangedreven, terwijl aan de onderkant geen rotatie mogelijk is. De polarisatie van de uittredende elektro-magnetische golf wordt geleidelijk getordeerd door verdraaide stand van de vaantjes. Door gebruik te maken van mechanische resonantie varieert de polarisatie hoek sinusvormig als functie van de tijd met een periode van 40 ms en maximum polarisatiehoek verdraaiing van plus en minus 90 graden.

In Figuur 6 wordt een voorbeeld van de verzonden en ontvangen polarisatie hoeken over 32 meetperiodes van 1.25 ms getoond. Daar de polarisatoren de polarisatie hoeken continue kunnen veranderen, kan de volledige polarisatie matrix met behulp van een ontvanger bepaald worden, zonder de noodzaak van twee orthogonale en gelijke polarisatie kanalen.

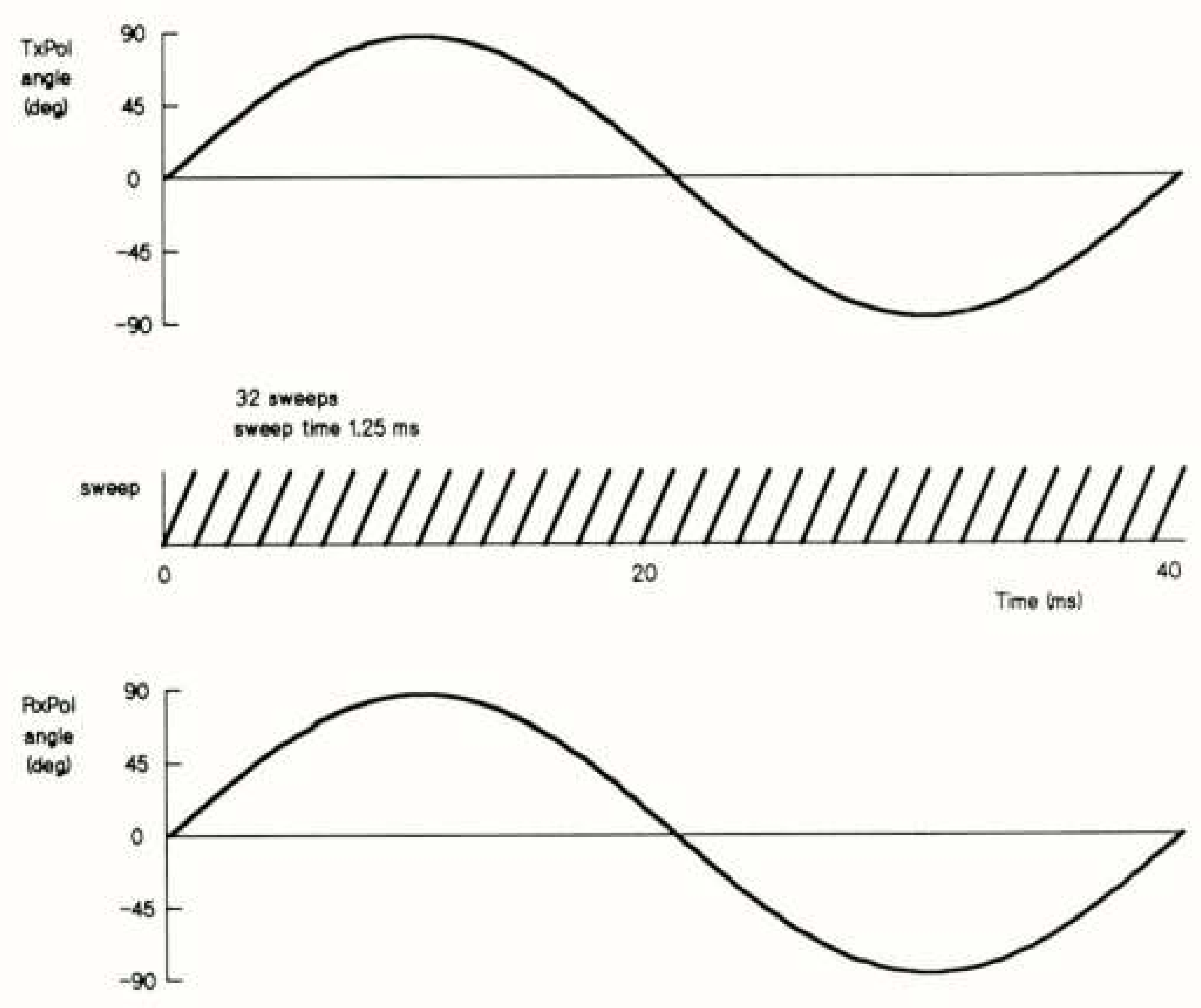
De besturing van de aandrijving van de polarisators gebeurt met behulp van een daarvoor speciaal ontwikkelde microprocessor gestuurde signaal generator, die ook in het nieuwe DARR computer systeem alle besturings signalen voor de ADC en de stuursignalen voor de VCO levert.

2.4. **Signaalbewerkings apparatuur.**

De uitgangs signalen van de ontvanger, dienen bewerkt te worden. Voor het bepalen van de reflectie grootheden is minimaal een Fourier transformatie vereist, verder



Figuur 5. DARR polarisator.



Figuur 6. Voorbeeld DARR polarisatorsturing.

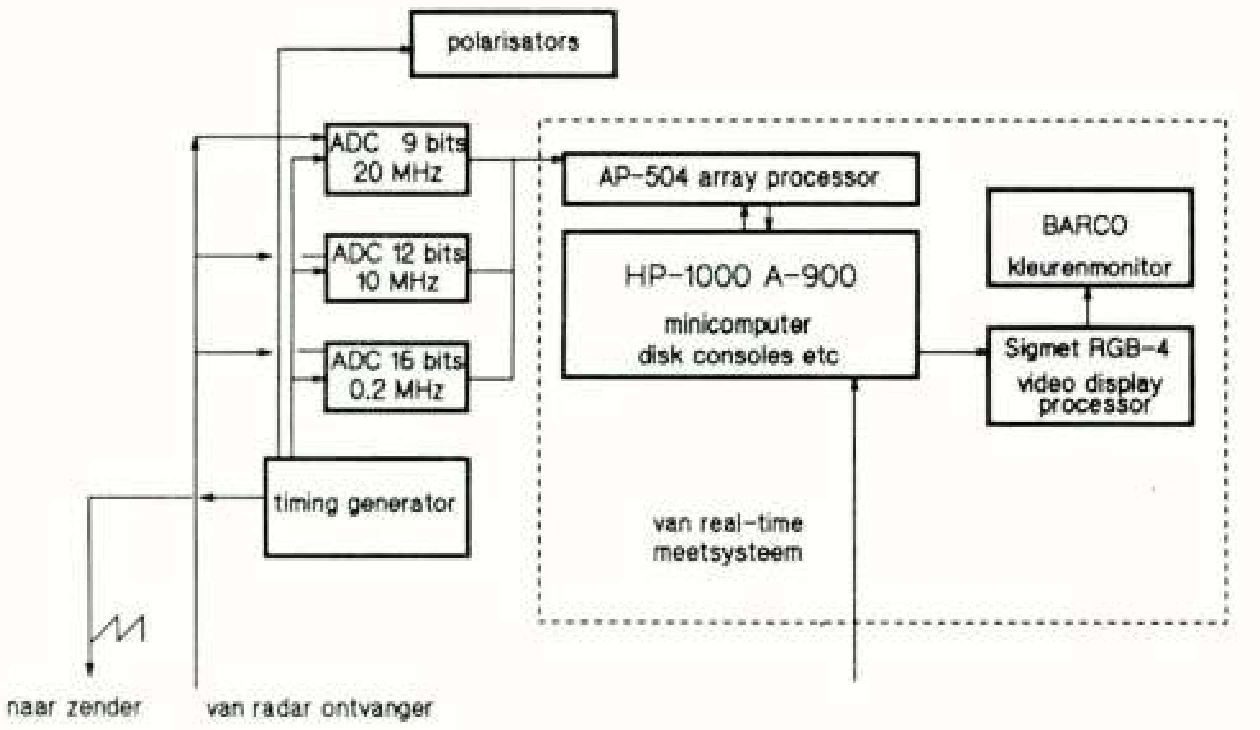
zijn digitale filtering, Doppler processing en polarimetrie processing gewenst. Al deze bewerkingen vinden met behulp van computers en een array processor plaats.

De registraties van metingen met DARR vinden momenteel plaats met een Hewlett & Packard HP-1000 A-900 computer systeem uitgerust met onder andere een Analogic AP-504 array processor, een Sigmet RGB-4 video display processor en een 134 Mbyte schijf. In DARR is verder nog sprake van een HP A-600 antenne besturings computer, en verder microprocessor schakelingen voor signaal opwekking en polarisator besturing.

2.4.1 **Computer configuratie met arrayprocessor.**

Voor off-line bewerking van de polarisatie gegevens wordt ook gebruik gemaakt van de HP-1000 A-900 computer systeem gecombineerd met de AP-504 array processor. In Figuur 7 is een blokschema van deze configuratie getekend. Voor de processing wordt het deel binnen de stippellijn gebruikt. Niet-bewerkte data, opgeslagen op een instrumentatie recorder, wordt eerst op de disk overgedragen. De data wordt vervolgens in de array processor bewerkt. Bewerkte data kan eventueel voor visualisering via de Sigmet video display processor op de kleurenmonitor zichtbaar gemaakt worden.

Met het deel buiten de stippellijn zijn een veelheid van applicaties mogelijk. Vooral applicaties waarbij het niet nodig is om ruwe data op een recorder op te slaan maar direct in real-time in de array processor te bewerken en daardoor de hoeveelheid gegevens te reduceren krijgen de hoogste aandacht.



Figuur 7. Blokschema DARR processing.

2.5 <u>DARR systeem specificaties.</u>

In Tabel I zijn de DARR-hardware specificaties gegeven en de specificaties van DARR na de processing van de radardata.

DARR specifications (hardware)		DARR specifications (after processing)	
Radar type	linear FM,	Range R	0.4 - 30 km
	triangular, sawtooth	Analyser bandwidth B	1/T
Transmitted power	50 dBm (max)	Min. detectable signal	-160 + 10.log(B) dBm
	30 dBm (measurements)		(S/N = 12 dB)
Centre frequency	3.315 GHz	Min. detect. reflect.	5.10^{-16} BR^{2}/h cm^{-1}
Frequency excursion F	1 - 50 MHz	Fixed target suppression	26 - 32 dB
Range resolution h	3 - 150 m	Max. unambiguous Doppler	+/- 18 m/s
Sweep time T	0.625 - 640 ms	Doppler resolution cell	0.05 m/s (minimum)
Beat frequencies	0.4 - 1000 kHz	Polarizer angles	+/- 90 degrees
Receiver noise figure	2.5 dB		transmitter, receiver
Antenna gain	32.7 dB receiver	period	40 ms
	40.0 dB transmitter	steering	co-phase, anti-phase
Antenna beamwidth	4.6 degrees receiver	accuracy	1.5 degrees
	1.8 degrees transmitter		
Isolation receiver - transmitter	> 90 dB		

Tabel 1. DARR specificaties.

2.6 <u>DARR calibratie voor Doppler-Polarimetrie metingen</u>

2.6.1 **Calibratie m.g.v. vertragingslijn**

Deze vertragingslijn simuleert het ideale single target zonder polarisatieafhankelijkheid. Voorts worden de meetresultaten met de vertragingslijn gebruikt voor:

a. testen van de datacommunicatie van Instrumentatie recorder naar HP/A900
b. bepaling van de coherentie van het DARR systeem i.v.m. Doppler-Polarimetric processing
c. stabiliteitsverbetering van het DARR systeem d.m.v. correcties uit te voeren in de signaal processing op het beat frequentie spectrum.

2.6.2 **Calibratie m.b.v. ruis aan de ingang van de r.f. ontvanger en de zender uitgeschakeld**

De ruis simuleert een oneindige set van ideale targets random verdeeld in de radarbundel zonder polarisatie-afhankelijkheid en zonder rekening te houden met de ruimtelijke uitbreiding van uitgezonden radargolven.

De resultaten verkregen na signaal processing over de hele beatfrequentieband worden gebruikt voor:

a. analyse frequentieafhankelijkheid van de r.f. en i.f. componenten in het DARR systeem. Deze frequentieafhankelijkheid geeft amplitudemodulatie hetgeen tot uitdrukking komt in een afwijkend verloop van het vermogensspectrum bij lage beatfrequenties.
b. verloop van de ontvangerversterking over de hele beat frequentieband.

2.6.3 **Calibratie DARR antennes**

Indien de antennegain afhankelijk is van de stand van de polarisatoren dan kan hiervoor in de signaal processing correcties worden uitgevoerd. Deze correcties zijn periodiek met de polarisator periode van 40 ms.

2.6.4 **Calibratie DARR met draaiende polarisatoren**

Een vlakke plaat reflector -goed uitgericht en opgesteld op vaste afstand van de radar- stelt ons in staat een grote en goed bekende RCS te realiseren zodanig dat de in de omgeving van de plaat aanwezige grondreflecties slechts een beperkte rol spelen. Bij deze calibratiemetingen wordt het gehele DARR systeem inclusief antennes in de beschouwingen betrokken.

2.7 <u>Calibratiemetingen van de polarisatoren</u>

Tijdens de calibratiemetingen worden alle DARR deelsystemen ingezet die ook bij de Doppler-Polarisatie metingen worden gebruikt.

Uit dynamische metingen van de DARR antennes bij maximale polarisatieverdraaiing van de polarisatoren is te herleiden, dat het bereik in polarisatiehoek wordt gegeven door:

- 82 tot 84 graden voor de DARR ontvangantenne.
- 87 tot 84 graden voor de DARR zendantenne.

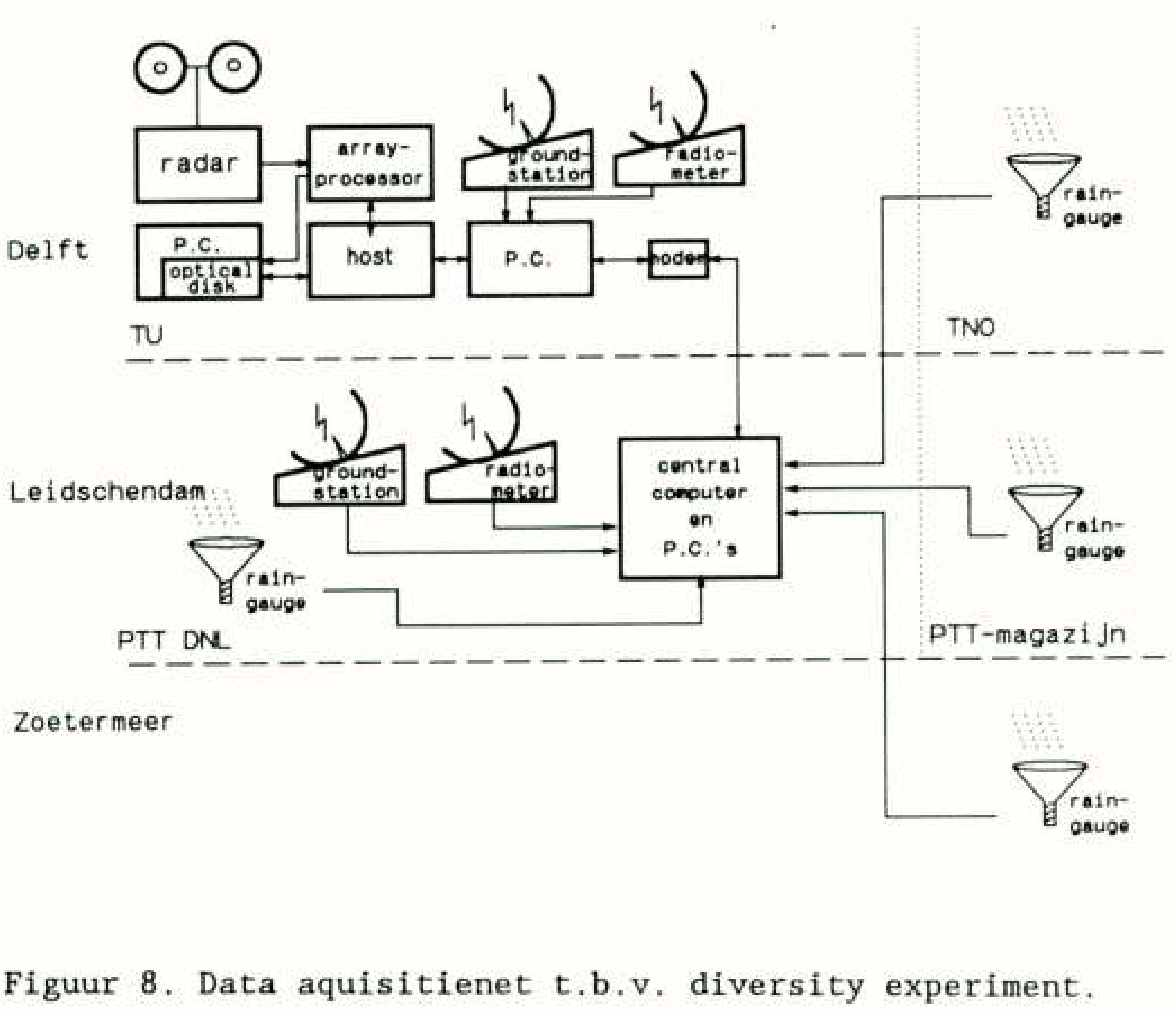
2.8 Calibratie Software

Ten behoeve van de DARR calibratie met breedband ontvangerruis, vertragingslijn en de vlakke plaat is het volgende software pakket ontwikkeld uitgaande dat de ruwe -tijd gesampelde beat signaal- data is opgeslagen op schijf bij het A900 systeem.

3. De Delft Solid State Radar SOLIDAR t.b.v. Site-Diversity

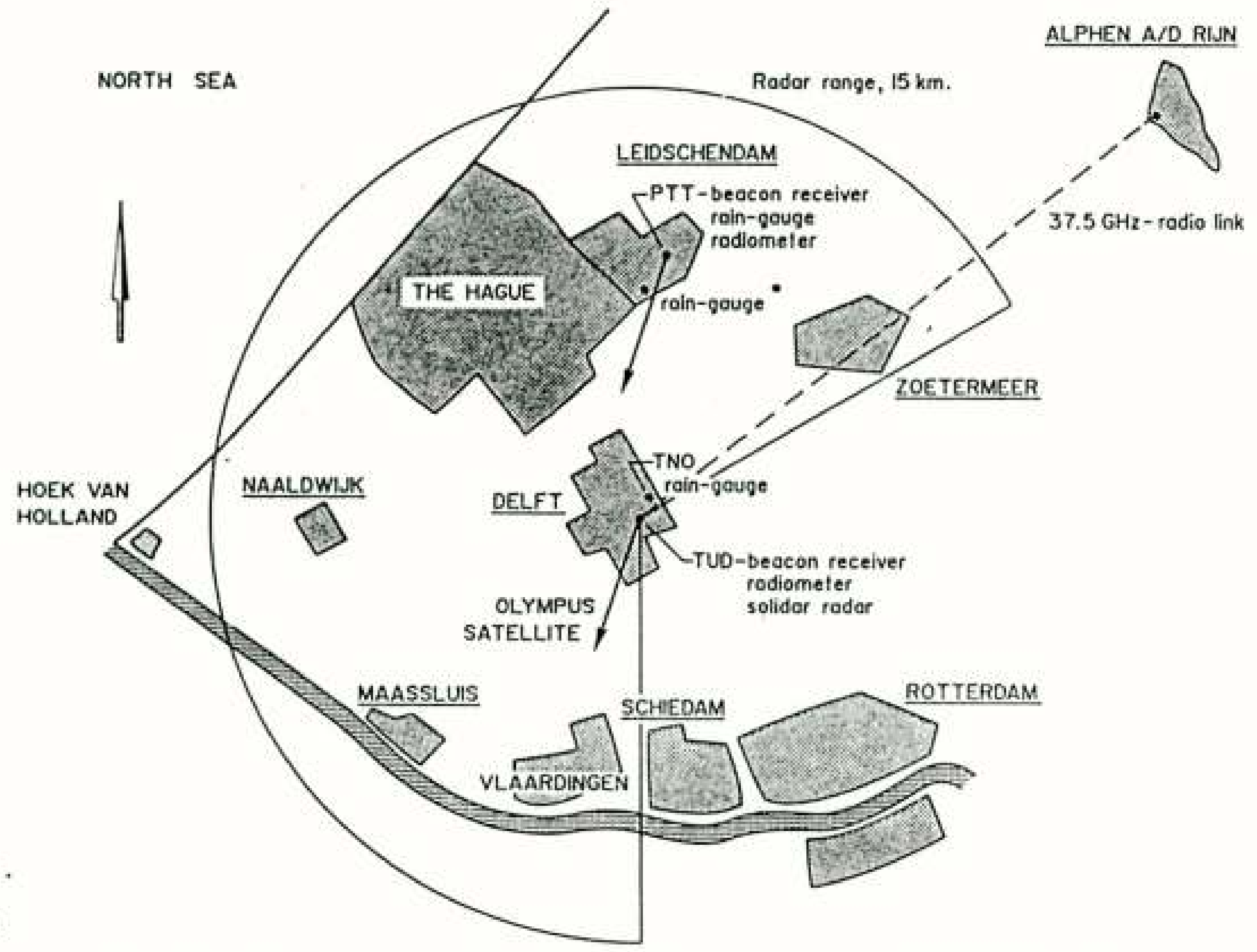
3.1 Het "Diversity" experiment

Doel van het "Site Diversity" experiment is inzicht te verkrijgen over de plaats, het tijdstip en de regenintensiteit van buien gedurende de verstoring in het "diversity" gebied. Tevens dient men de voorgeschiedenis van de regenbuien in dit gebied te onderzoeken zodat over informatie kan worden beschikt alsvorens deze bui langs of over de grondstations trekt. Met deze informatie kan men de optimale route tussen de grondstations bepalen waardoor een ongestoorde verbinding is gewaarborgd. Bij het "diversity" experiment zal gebruik worden gemaakt van de Solidar rondzoekradar. Met behulp van de rondzoekradar gekoppeld aan een computernet met meetapparatuur ontwikkeld door het PTT-RNL (twee satellietbakenontvangers, twee radiometers en vier regenmeters) zal het onderzoek verricht worden.
In Figuur 8 is een overzicht gegeven van het volledige data acquisitie netwerk.
In Delft is op de Hoogbouw van Elektrotechniek de rondzoekradar en een satellietbakenontvanger geplaatst.



Figuur 8. Data aquisitienet t.b.v. diversity experiment.

Bij het TNO laboratorium in Delft is een regenmeter geplaatst en bij het PTT-RNL is een regenmeter, een tweede satellietbakenontvanger en een radiometer geplaatst. Voorts is er nog een regenmeter geplaatst bij het PTT magazijn in Leidschendam en een te Zoetermeer. De gegevens afkomstig van de regenmeters worden on-line verzonden via het RNL naar Delft. De gegevens van de regenmeters zijn nodig om de "reflectivity-data", verkregen met de radar, om te rekenen naar de regenintensiteit.



Figuur 9. Meetgebied van de rondzoekradar Solidar.

De radar dient voor de metingen een geschikt gedeelte van de omgeving rond de plaats van de satellietbakenontvangers te bestrijken. In Figuur 9 is een kaart van de omgeving van Leidschendam-Delft weergegeven waarin het meetgebied van de radar staat aangegeven. Het afstandbereik van de radar is 15 km, terwijl de door de radar bestreken sectorhoek, zoals aangegeven op de kaart, circa 240 graden bedraagt. Deze keuze maakt het mogelijk metingen te doen aan een belangrijk deel van de optredende regenbuien; deze komen vnl. uit de Z.W. en N.W. richting.
De radar zal voltijds in bedrijf moeten zijn, tenzij zeker is dat er geen buienaktiviteit te verwachten is. Teneinde grote hoeveelheden data afkomstig van de radar te vermijden, is voorbewerking op de data nodig zodat alleen voor het "diversity" onderzoek significante informatie beschikbaar komt. Daarnaast wordt niet alle radardata op optische disk opgeslagen, dit gebeurt alleen als aan de volgende criteria wordt voldaan:

- de gemeten regenintensiteit is groter is dan 2 mm/h,
- de radiometer geeft een overschrijding van een vooraf-ingestelde waarde,
- het aantal reflectie-overschrijdingen relatief t.o.v. de radarreflecties gemeten tijdens perioden zonder neerslag,
- er treedt een significante overschrijding op in een van de meetpunten (segmenten). De grote waarop geregistreerd moet worden is instelbaar.

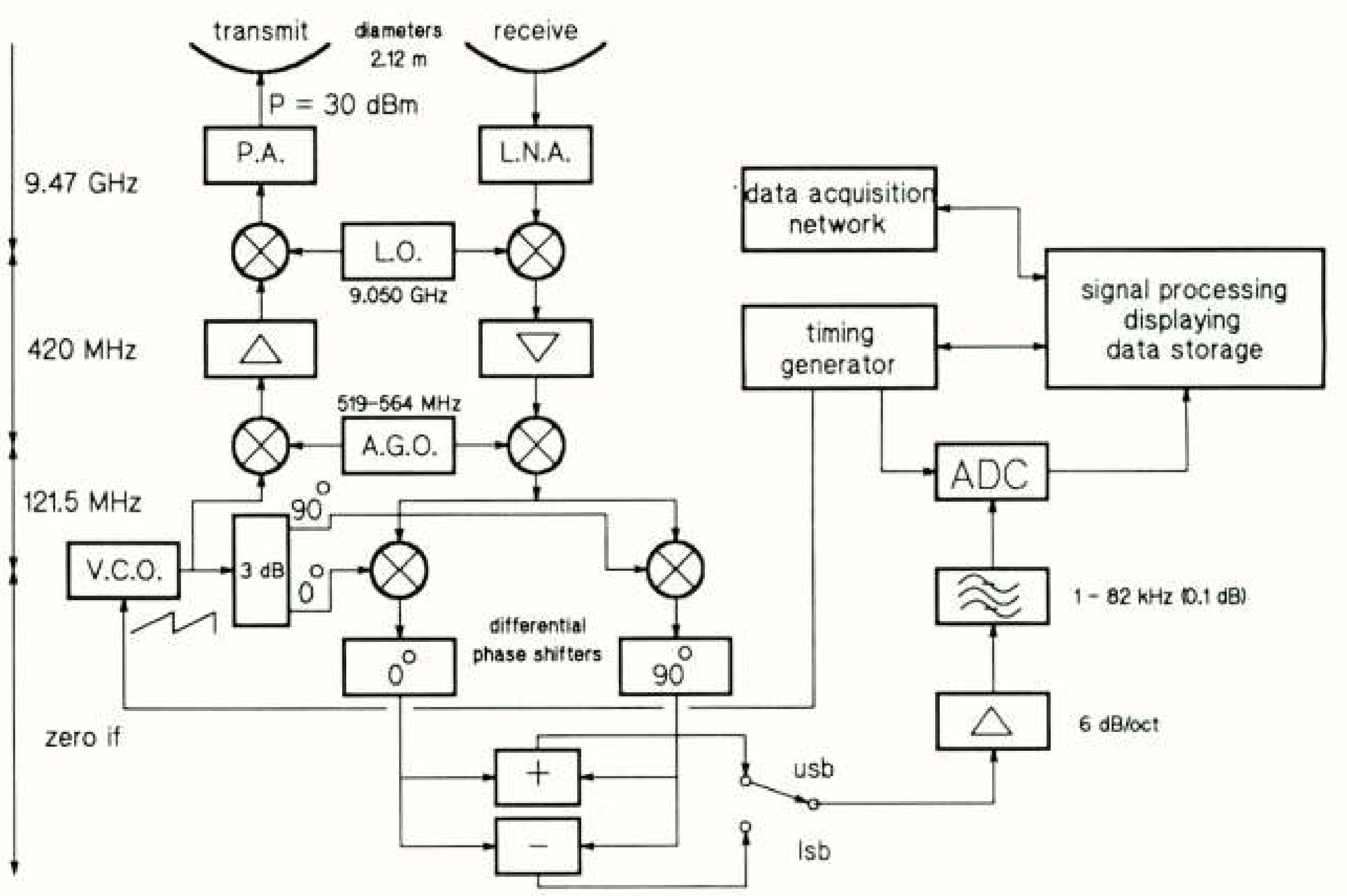
Voor het onderzoek t.b.v. aardse straalverbindingen is een 37.5 GHz digitale radioverbinding tussen Delft en Alphen beschikbaar. Het karakter van dit onderzoek is deels gericht op propagatie en deels op de systeemeigenschappen in geval dergelijke straalverbindingen worden toegepast als datalink met datasnelheden boven 2 Mb/s, op zeer hoge frequenties en over relatief grote afstanden. Dit onderzoek wordt uitgevoerd in samenwerking met STC (Shape Technical Center) in Den Haag.

3.2 <u>Het rondzoekradarsysteem</u>

Het systeem is opgebouwd uit een hardware en een software gedeelte.

3.2.1 **Het hardware gedeelte van de rondzoekradar**

De rondzoekradar maakt gebruik van een lineair FM-CW modulaat. De rondzoekradar opereert in de X-band, waardoor antennes van beperkte afmeting (1.20 m.) mogelijk zijn. De keuze voor deze radarfrequentie houdt evenwel in dat in de signaal bewerking op toenemende demping, t.g.v. bijvoorbeeld regen langs het radarpad, gecorrigeerd moet worden.



Figuur 10. Blokschema Solidar.

Solidar specifications (hardware)		Solidar specifications (after processing)	
Radar type	linear FM, sawtooth	Range R (max.)	15.36 km
Transmitted power	30 dBm	Range resolution	120 m
Received sign.level	-17 dBm (max.)	Azimuth resolution	1.875 degrees
Centre frequency	9.47 GHz	Number of range cells	128
Frequency excursion	5 MHz	Number of sector angles	128
Range resolution	30 m	Total sector	240 degrees
Sweep time	5 ms	Analyzer bandwidth	25 Hz
Beat frequencies max.	102.4 kHz	Min. detectable rain	1 mm/hr
Receiver noise figure	2.5 dB	intensity at max. range and	
Antenna gain	38 dB	S/N = 35 dB	
Antenna tilt angle	0 - 8 degrees	Max. detectectable rain	100 mm/hr
Antenna beamwidth	2.8 degrees	intensity	
Antenna revolution time	15.36 s	Dynamic range ADC	96 dB
Antenna isolation	> 60 dB		

Tabel 2. Solidar specificaties.

De zendantenne en de ontvangstantenne zijn naast elkaar bevestigd. Door de "rim" rondom de parabool wordt de vereiste isolatie bereikt. De spanningsgestuurde oscillator (VCO) heeft een eerste middenfrequentie van 121.5 MHz en heeft de juiste fase ruis specificatie. Deze VCO wordt gebruikt voor het genereren van een lineaire frequentie-zwaai van 5.12 MHz (zie Figuur 10). Voor de agility oscillator met een middenfrequentie op 541.5 MHz gelden eveneens de strenge fase ruis specificaties. Deze bron wordt gebruikt voor het omhoog converteren tot frequenties welke nog eenvoudig te filteren zijn, namelijk de tweede middenfrequentie tussen 397.5 en 442.5 MHz. In de toekomst kan deze frequentie wisselen bij opeenvolgende sweeps ("frequency agility") om zo twee opeenvolgende neerslagmetingen te decorreleren.
De microgolf frequentie van de radar is 9445-9495 MHz, deze wordt verkregen door gebruikmaking van een cavity oscillator met een vaste frequentie op 9050 MHz.
Het beatsignaal met een bandbreedte tot 102.4 KHz kan, na versterking, filtering en de analoog digitaal conversie, zonder verlies van data worden geanalyseerd door middel van een array-processor.
De array-processor doet hiervoor de noodzakelijke Fourier transformaties (FFT), filteringen, middelingen (data reductie) en clutteronderdrukking in real-time. In een verdere verwerking van de meetgegevens worden de regenbuiparameters berekend, die noodzakelijk zijn voor de transformatie van de reflectivity naar regeninsiteit.

Een overzicht van de specificaties waaraan de rondzoekweerradar voldoet is gegeven in bovenstaande tabel 2.

3.2.2 **Het software gedeelte van de rondzoekradar**

Bij de rondzoekradar zijn verschillende computers in gebruik. Deze computers dienen ervoor om, naast het gecoordineerd binnenhalen van meetgegevens, de meetgegevens te bewerken en op te slaan.

Samengevat dienen in de processing de volgende taken uitgevoerd te worden:

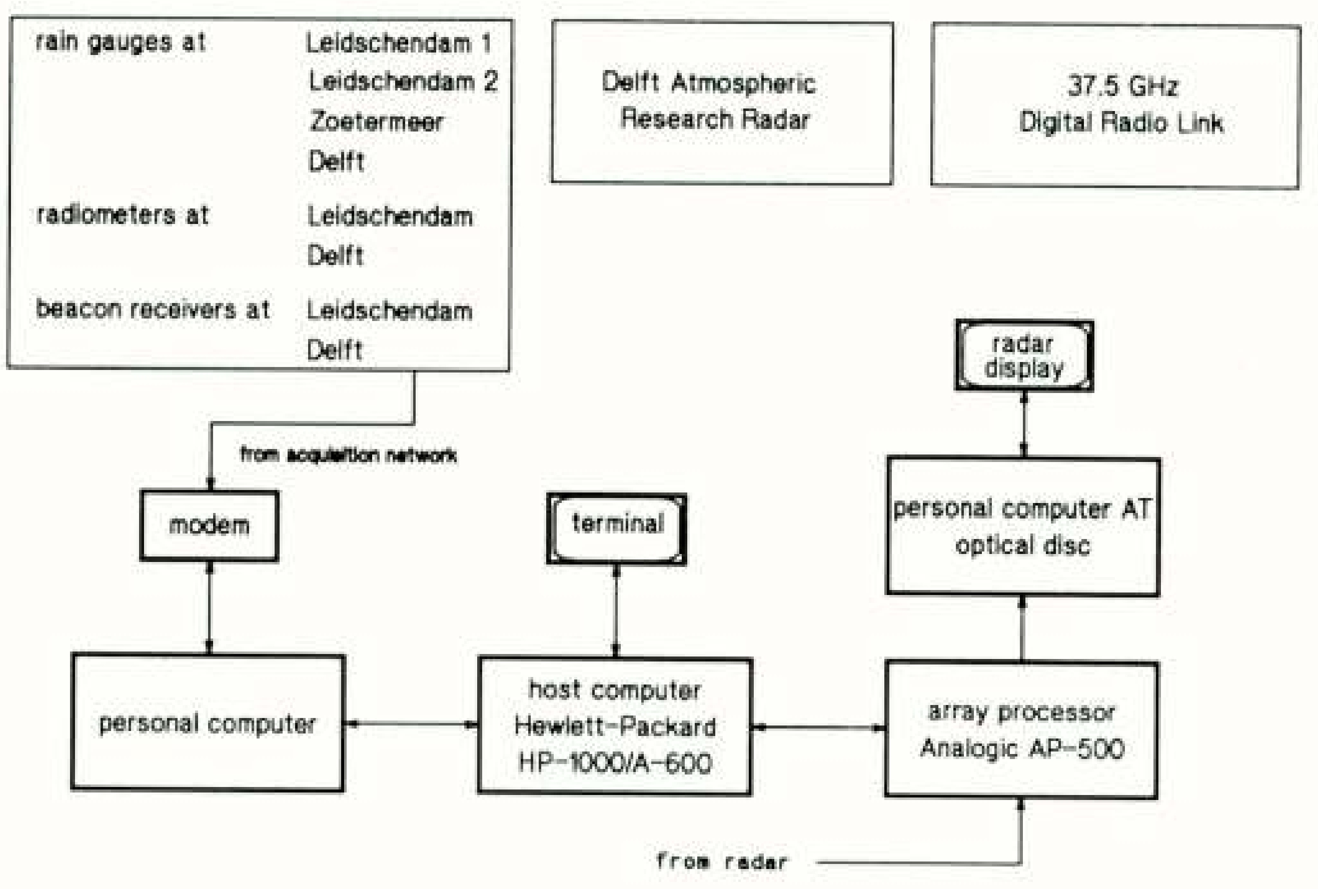
- Doorgeven of inlezen van gewenste data
- Berekenen van de vermogensspectra van de radardata
- Uitvoeren van blokmiddeling op de radardata
- Clutteronderdrukking d.w.z. het onderdrukken van storende reflecties van bomen, flatgebouwen e.d. op de data
- Bepaling van regenbuiparameters
- Opslaan op optische disk van op clutter gecorrigeerde reflectiviteitsmetingen, berekende regenbuiparameters en datum/tijd gegevens.

Funkties die door de computerprogramma's uitgevoerd worden zijn:

- het verzorgen van menu-besturing,
- het laden van gegevens voor de arrayprocessor,
- het geven van besturingscommando's aan de arrayprocessor,
- het inlezen van gegevens uit de randapparatuur,
- het berekenen van de regenbuiparameters,
- het wegschrijven van data voor opslag .

Door het gebruik van een arrayprocessor is het mogelijk om snel (sneller dan de hostcomputer) gelijktijdig zowel processing als Input/Output (I/O) te plegen. De arrayprocessor wordt daarom gebruikt voor het binnenhalen van de radarmetingen en het bewerken van deze data. De host-computer heeft, naast de verbinding met de array-processor, verbinding met twee PC's zoals is weergegeven in Figuur 11. Beide dienen resp. voor:

- levering van de regenmeterdata en datum/tijd gegevens aan de host
- opslag op optische disk van:
  * de op clutter gecorrigeerde meetdata.
  * de regenbuiparameters.
  * de datum/tijd gegevens.
  * de waarden van de radiometers.
  * de omwentelingstijd van de antennes.
  * indicatie registratie criterium.
  * status gegevens van de radar (zoals zendvermogen, temperatuur e.d.).



Figuur 11. Overzicht inclusief Solidar processing.

Met behulp van de gemeten (op clutter gecorrigeerde) reflectiviteitswaarden, de berekende regenbuiparameters en datum/tijd gegevens, is het mogelijk voor lange perioden de regenbuistructuur te bepalen over het gehele meetgebied van de radar.

3.3 **Benaderingsmethode voor de regenbuiparameters**

Bovenstaande maakt het mogelijk om een grote hoeveelheid reflectiviteitswaarden te meten, te bewerken en op te slaan. Met deze gegevens kan o.a. een benadering worden gemaakt van de regenintensiteit over het meetgebied van de radar. Dit gebeurt door de berekening van regenbuiparameters, die de relatie vastleggen tussen de regenintensiteit en reflectiviteit. Tot op heden is hier nog geen universele relatie voor gevonden. Een reële regenbui wordt beschreven door meerdere parameters (vooral de druppelverdeling en de windsnelheden zijn hierin van belang), zodat de gemeten reflectiviteit alleen niet voldoende is om de regenintensiteit te kunnen bepalen. Ondanks uiteenlopende bevindingen van onderzoekers kan in het algemeen de relatie tussen de reflectiviteit en de regenintensiteit I als volgt worden beschreven [1]:

$$Z_c = c.I^d \quad \Rightarrow \quad I = (Z_c/c)^{1/d} \qquad (1)$$

Als nu c en d bekend zijn, kunnen m.b.v. de gemeten en daarna gecorrigeerde reflectiviteitswaarden de regenintensiteiten worden benaderd over het meetgebied van de radar. De regenbuiparameters c en d worden in het zgn "Rora-programma" afgeleid van reflectiviteitswaarden gemeten boven vier regenmeters, opgesteld in het meetgebied van de rondzoekradar, en van de -door deze meters aangegeven- regenintensiteitswaarden. Belangrijk voor een goede bepaling van de c en d parameterwaarde zijn de in de berekening gebruikte Z_c waarden. De waarden Z_c (corrected) zijn zoals eerder vermeld gemeten reflectiviteitswaarden Z_m (measured), gecorrigeerd op demping. De relatie tussen Z en de specifieke demping γ is te schrijven als :

$$\gamma = a \; . \; Z^b \qquad (2)$$

Met relaties (1) en (2) zijn alle voor dit hoofdstuk relevante regenbuiparameters genoemd: a, b, c, d. Het zijn deze parameters die uiteindelijk bepaald dienen te worden met het Rora-programma.
De huidige stand van onderzoek geeft aan dat:

- Er dient aanvullend onderzoek gedaan te worden aan ongewenste grondreflecties (Hoofdstuk 4).
- De "abcd"bepalingsroutine dient in de praktijk te worden getest. Aandacht moet worden besteed aan de correlatie tussen de door de PTT geleverde regenintensiteitswaarden en de met de radar gemeten reflectiviteitswaarden.
- Algoritmen moeten worden ontwikkeld voor de bewerking van de radarbeelden (contouring regenbuien e.d.)

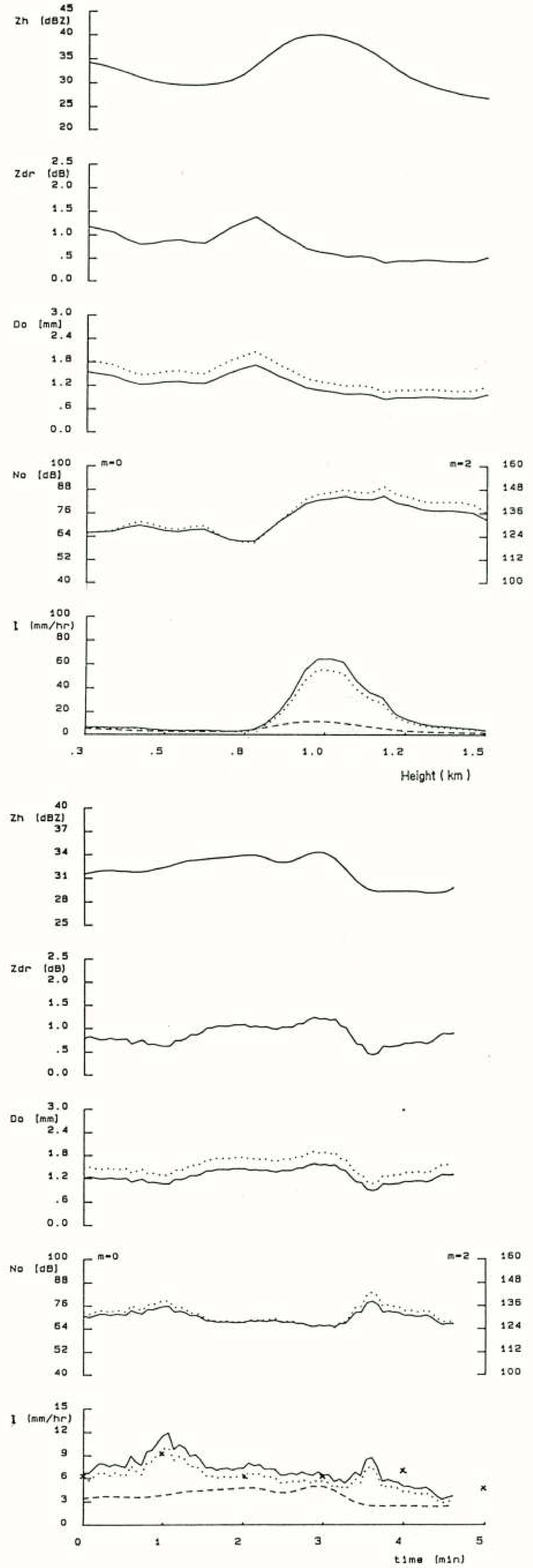
4. Metingen met DARR en Solidar

De polarisatoren in de DARR faciliteit geven de mogelijkheid om de polarisatie-afhankelijkheden van hydrometeoren te meten langs het satellietpad. Zo kan de druppelverdeling van regen bepaald worden aannemende dat deze gekenmerkt kan worden middels een exponentiele verdeling, dat de druppels de vorm bezitten van omwentelingsellipsoiden en dat de asverhouding eenduidig is gerelateerd met de druppelgrootte. Voor de druppelverdeling wordt aangenomen (zgn. gamma verdeling):

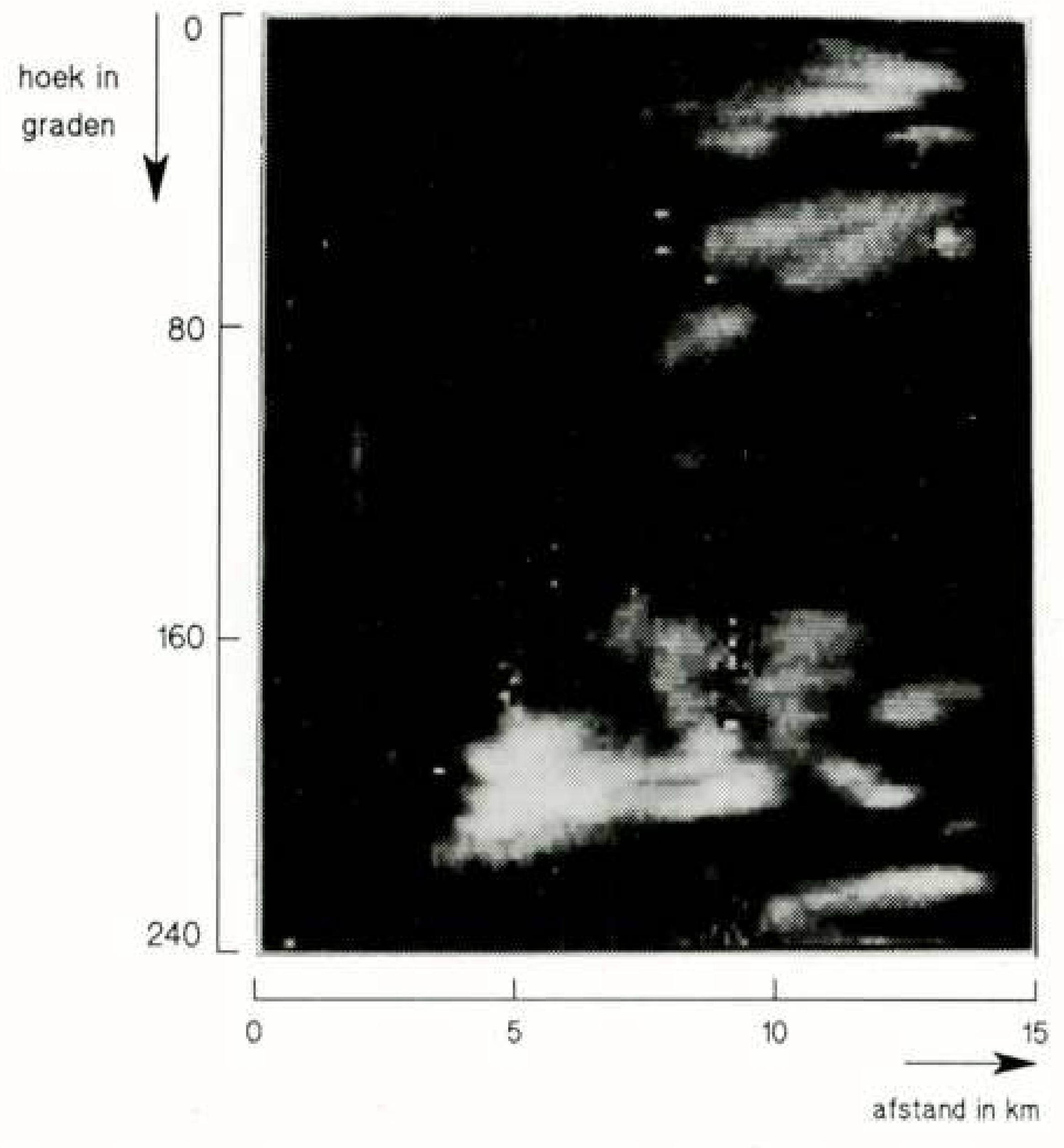
$$N(D) = N_0 D^m \exp(-3.67\ D/D_0) \qquad (3)$$

waarbij D = equivolume diameter van de regendruppel,
m = orde van de gamma verdeling.

De twee parameters N_0 en D_0 behorende bij dit model worden afgeleid uit de reflectivity Z_{HH} (horizontaal zenden en ontvangen) en uit de zgn. "differential reflectivity" Z_{dr} (de verhouding Z_{vv}/Z_{hh}).
De nauwkeurigheden waarmee DARR de Z_{HH} en Z_{dr} kan meten zijn respectievelijk 0.5 en 0.1 dB rms. Metingen met DARR worden verricht bij een elevatie van 30 graden (elevatie waaronder de Olympus satelliet wordt "gezien") en bij een azimuth zodanig dat het radarpad loodrecht staat op de gemiddelde windrichting. Beide polarisatoren worden in-fase gestuurd (co-polar sturing) waarbij de maximale polarisatie hoekverandering t.o.v. de rustpositie van de polarisatoren 90 graden bedraagt. De sweeptijd is 2.5 ms, de afstandsresolutie 75 m. De vermogensmetingen worden gemiddeld over ca. 4 s. om interferenties binnen een radar-afstandscel te voorkomen. Deze interferenties kunnen ontstaan door de verschillen in Doppler-valsnelheden van grote en kleine regendruppels.
Twee illustraties van gemeten en berekende resultaten voor m=0 en m=2 worden getoond in Figuur 12. De toename in de reflectivity op het hoogte-interval tussen 800 en 1200 m wordt veroorzaakt door smeltende sneeuw- en ijsdeeltjes. De smeltlaag in de regenbuien speelt een geheel eigen rol in het satelliet-propagatie onderzoek. DARR met zijn hoge afstandsresolutie gecombineerd met de Doppler-polarisatie mode is bij uitstek geschikt voor het onderzoek aan de smeltlaag. Zo zien we in deze meting een maximum in de differential reflectivity onderin de smeltlaag. Dit maximum wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de aanwezigheid van grote (nog niet-volledig gesmolten) natte sneeuwvlokken. De berekende regenintensiteiten, afgeleid voor m=0 en m=2, worden vergeleken met de regenintensiteit gemeten op 650 m afstand van de radar (TNO-Delft) en met de "klassieke" Z-I relatie $Z = 200\ I^{1.6}$ (Marshal-Palmer). Goede resultaten worden verkregen voor de gekozen druppelverdeling en de -op deze verdeling gebaseerde-regenintensiteitsberekening mits de regenbui niet teveel wordt beinvloed door sterke convecties en turbulenties.



Figuur 12. Reflectivity, differential reflectivity, druppelverdeling en regenintensiteit als functie van de a) hoogte, b) tijd.
_____ m=0; .... m=2; ---- Marshal-Palmer.



Figuur 13. Solidar meting van lokale regenbuien.

Figuur 13 toont een foto genomen van het radarscherm. Het radarscherm is de monitor behorende bij de Personal Computer met optische schijf. Het dynamisch bereik voor visualisering is ingesteld op 35 dB en de reflecties worden weergegeven in 16 grijsnivo's overeenkomend met stappen van ongeveer 2.2 dB per grijstint. De laagste reflecties worden in zwart en de hoogste reflecties in wit weergegeven. Verticaal is uitgezet de azimuth-hoek t.o.v. richting "zuid" ("zuid"= 0 graden), de draairichting van de radar is "zuid"-"west"-"noord"-"oost" etc., de "real-time" radarprocessing vindt plaats over 240 graden azimuth en 15 km. radarrange (horizontale as). Dit zgn. B-scoop radarbeeld wordt per omwenteling op de monitor getoond. Huidig onderzoek is erop gericht dit beeld om te zetten in het meer vertrouwde "radiaal-weergegeven" radarbeeld. In het radarbeeld zijn lokale regenbuien te herkennen. De in-het-beeld-aanwezige plaatselijke "puntreflecties" worden veroorzaakt door reflecties aan obstakels op de grond. Deze ongewenste reflecties zijn mogelijk door de zijlobben van zend- en ontvangantenne en worden aangeduid met de verzamelnaam "grond-clutter". De elevatie van beide antennes tijdens de meting bedraagt 3.35 graden en is zo gekozen op basis van grond-clutter onderzoek bij lage elevaties. De stabiliteit van Solidar staat toe om deze grondreflecties verder te onderdrukken in de radar signaalbewerking. Onderzoek op dit terrein en op het gebied van regenbui-contouring staan op het programma.

5. Conclusies

Toekomstige satellietcommunicatie in de frequentiebanden 20 en 30 GHz maakt propagatie-onderzoek noodzakelijk. Door meting van de 12 en 30 GHz bakens van Olympus (lancering 12 juli 1989) is toetsing van bestaande en nog te ontwikkelen propagatie modellen mogelijk. De kwaliteitsverslechtering van het satellietpad wordt veroorzaakt door hydrometeoren. Fenomenologisch onderzoek aan neerslag is mogelijk met radar remote sensing van de atmosfeer zowel langs het satellietpad als ook in een ruimtelijk gebied rondom grondstations. De TU-Delft is de enige instelling wereldwijd, die beschikt over twee radarstations, DARR en Solidar, waarmee uitgebreid fundamenteel en experimenteel onderzoek mogelijk wordt op de gebieden:

- druppelverdeling van regen,
- vormfactor van regendruppels,
- scheiding tussen regen, sneeuw, hagel, e.d.,
- smeltprocessen,
- dempingsberekeningen (tijds- en plaatsafhankelijkheid) langs het satellietpad met onderscheiden van demping door regen, smeltend sneeuw etc.,
- kruispolarisatieberekeningen langs het satellietpad,
- dempingsberekeningen (tijds- en plaatsafhankelijkheid) voor satelliet- en aardse straalverbindingen op basis van radar-neerslagmetingen in een groot ruimtelijk gebied rondom Delft,
- grondstation networking aspecten, waaronder site-diversity, op basis van radaronderzoek.

De berekeningen kunnen uitgevoerd worden voor willekeurige frequenties (dus ook voor 40, 50 en 60 GHz), de metingen worden geverifieerd met 12 en 30 GHz co- en cross-polar metingen langs het Olympus-satellietpad en met 37.5 GHz metingen op een aardse straalverbinding.

Deze publicatie beschrijft DARR en Solidar zoals zij gebruikt gaan worden in het Olympus-project. Accent is gegeven aan "Delftse" FM-CW radaronderzoeksaspecten betreffende radartechnologie en radarsignaalbewerking. DARR is een hoge resolutie S-Band radar (3.3 GHz) waarmee de Doppler- en polarisatie-eigenschappen van neerslag langs het satellietpad kunnen worden gemeten. Solidar is "afgeleid" uit DARR en meet neerslag in een ruimtelijk gebied met een straal van 15 km. rondom Delft. Beide radars staan op de Hoogbouw Electrotechniek van TU-Delft en kunnen worden beschouwd als een nieuwe generatie FM-CW multi-parameter radarsystemen.

Dit TU-Delft project maakt deel uit van een STW project (Stichting voor de Technische Wetenschappen) en wordt uitgevoerd in samenwerking met ESA (European Space Agency), Philips-HSA (Hollandse Signaal Apparaten), STC (Shape Technical Center) en PTT-RNL (Research Neher-Laboratorium). Genoemde instellingen geven financiele steun en stellen tevens expertise beschikbaar. Het Olympus propagatie-onderzoek in Nederland vindt plaats bij ESTEC (European Space and Technology Centre), PTT-RNL, TU-Eindhoven en TU-Delft. De coordinatie commissie heet NCOP (Netherlands Coordination for Olympus Propagation experiments).

Voordracht gehouden tijdens de 367e werkvergadering.

LITERATUUR

[1] R.J. Doviak, D.S. Zrnic
Doppler radar and weather observations
Orlando, Florida: Academic Press. Inc, 1984

NEDERLANDS ELEKTRONICA- EN RADIOGENOOTSCHAP
(368ste werkvergadering)
IEEE BENELUX SECTIE
AFDELING TELECOMMUNICATIE KIVI

UITNODIGING

Voor de lezingendag op dinsdag 30 mei 1989 in de Radiosterrenwacht Dwingeloo, Oude Hoogeveensedijk 4, Dwingelo.
Thema: Elektronische instrumentatie voor radioastronomisch onderzoek.

Programma

10.45 uur:	Ontvangst en koffie
11.00 uur:	**Dr. A.G. de Bruyn** (Radiosterrenwacht Dwingeloo): "STERRENKUNDIG ONDERZOEK IN HET RADIOVENSTER".
11.30 uur:	**Dr.Ir. A. Bos** (Radiosterrenwacht Dwingeloo): "INSTRUMENTATIE VOOR SPECTRAALLIJN ONDERZOEK".
12.15 uur:	**Ir. G.H. Thon** (Radiosterrenwacht Dwingeloo): "MULTIFREQUENTIE-ONTVANGERS VOOR DE WESTERBORK SYNTHESE-RADIOTELESCOOP".
13.00 uur:	Lunch
14.00 uur:	**Ir. E.E.M. Woestenburg** (Radiosterrenwacht Dwingeloo): "SCHOTTKY-MIXER ONTWIKKELING VOOR HET SUBMILLIMETER GOLFLENGTE GEBIED".
14.30 uur:	**Dr.Ir. H. van de Stadt** (SRON, GRONINGEN): "SUBMILLIMETER HETERODYNE-DETECTIE M.B.V. SIS-JUNCTIONS".
15.00 uur:	Thee
15.25 uur:	Vertrek per bus naar Westerbork
15.45 uur:	Bezichtiging van de radiotelescoop in Westerbork en de instrumentatie.
16.45 uur:	Vertrek per bus uit Westerbork naar het station Hoogeveen.

Aanmelding voor de lezingen dient te geschieden vóór 19 mei door middel van aangehechte kaart gefrankeerd met 55 cent. Het aantal deelnemers is beperkt tot 70.
Tijdstip van ontvangst is beslissend voor deelname.
Deelnemers krijgen een schriftelijke bevestiging.
Diegene die gebruik wenst te maken van de bus die om 10.15 van het station Hoogeveen naar Dwingeloo zal vertrekken, kan dit op de aanmeldingskaart aangeven. Zij die met de auto wensen te komen worden i.v.m. het rijden binnen een radiostoringsvrij gebied verzocht het kenteken van hun wagen op te geven.
Reservering voor de lunch vindt slechts plaats als vóór 20 mei een bedrag van *f* 15,00 is ontvangen op de postrekening 1193065 t.n.v. J.B.H. Peek, Nuenen, onder vermelding van "Radio-astronomie".

Eindhoven, april 1989 — namens de samenwerkende verenigingen

Prof.Dr.Ir. J.B.H. Peek, IEEE
040-742451

Propagatiemetingen met de Olympus satelliet aan de TUE

ir. J. Dijk
Technische Universiteit Eindhoven, vakgroep Telecommunicatie.

The Eindhoven University of Technology has built a ground station and a radiometer for propagation research in the frequency bands 12/20/30 GHz with the Olympus satellite. This paper gives a description of the project aims and the measurement equipment.

1. Inleiding

Het gebruik van satellieten voor telecommunicatie zal toenemen. Een maat voor het gebruik in het frekwentiedomein wordt uitgedrukt in eenheden van 36 MHz. Deze maat is afgeleid van de bandbreedte van een satelliettransponder.
Momenteel (1990) zijn er ongeveer 3000 in gebruik en verwacht wordt een aantal van 10.000 in het jaar 2000. Het is daartoe noodzakelijk om de beschikbare frekwentieruimte flink uit te breiden. Met name "nieuwe" frekwentiebanden dienen onderzocht te worden op hun bruikbaarheid. De Olympus satelliet geeft de mogelijkheid om de radiokanalen in de 20/30 GHz frekwentiebanden te onderzoeken. Een signaal in de 12,5 GHz "oude" frekwentieband geeft de mogelijkheid om de beschikbare gegevens te koppelen aan die te meten 20/30 GHz banden.
De meetopstelling zal vervolgens worden beschreven.

2. Algemene doelstellingen van het TUE Olympus projekt

2.1. Hoofddoelstelling

- De hoofddoelstelling is het verrichten van radiopropagatie–onderzoek in de frekwentiebanden 12/20/30 GHz met behulp van de Olympus satelliet waarbij de 12 GHz onder andere optreedt als "linker" met bestaande kennis op dit gebied.
- Het verrichten van "ondersteunende" metingen met name atmosferische ruismetingen op 12/20/30 GHz met behulp van één radiometer opstelling.
- radiometeorologische metingen zoals regenintensiteitsmetingen en temperatuur, druk en vochtigheidsmetingen ten behoeve van de brekingsindex.
- windsnelheid en windrichtingsmetingen ten behoeve van scintillatiemetingen en modellering van de dempingsveranderingen.
- De bouw van een meetopstelling bestaande uit een antenne, een ontvanger en een gegevensverwerkingssysteem voor de satellietsignalen. De bouw van een drie–frekwentie radiometer. De bouw van een éénvoudig meteorologisch waarnemingsstation.

2.2. Hulpdoelstellingen

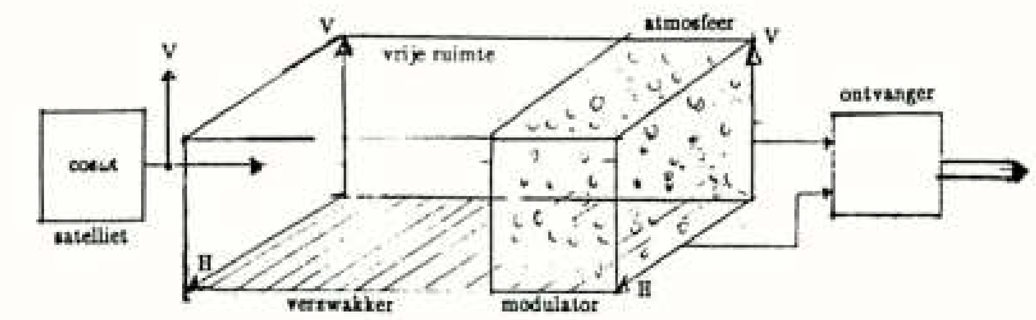
- Het op voorhand verrichten van propagatiestudies.
- Het inrichten van een "Testbed propagatie" ten behoeve van systeemonderdelen.
- Het inrichten van een "Testbed radiometrie" als atmosferische ruis meetopstelling.
- Het voorzien in adequate projekthuisvesting.

2.3. Het vormgeven aan de utilisatie van het TUE Olympus projekt

Aangezien het projekt mede gefinancierd wordt door de Stichting voor de Technische Wetenschappen, staat utilisatie ook daarom hoog in het vaandel geschreven.
Aan de diverse projektonderdelen dient een zo breed mogelijk (mede)gebruik te worden gegeven.
Gedacht wordt aan digitale transmissie–experimenten: CODE.
Meegewerkt wordt aan PACE: onderwijs via satelliet.
Propagatie–onderzoek in Indonesia wordt uitgevoerd onder INTELSAT en NUFFIC contracten.

3. Het satellietcommunicatiekanaal transmissieparameters

Het eigenlijke probleem bij de opzet van het Olympus propagatie projekt komt in feite neer op een klassiek radioprobleem.
De satelliet zendt draaggolven $\cos\omega_H t$ uit die door de vrije ruimte verzwakt worden met l. Door de relatieve beweging van de satelliet t.o.v. de aarde treedt frekwentiemodulatie op door het Doppler–effekt ($\Delta\omega$).
Het signaal passeert de troposfeer: deze treedt op als fase en amplitude modulator door allerlei effekten zoals regendemping, waterdamp absorptie, looptijdverschillen.
Tevens treedt er vooral bij regenbuien overspraak op naar het orthogonale kanaal H bij transmissiepolarisatie in de V–richting (fig. 1).



Figuur 1: Transmissie door een satelliet–communicatiekanaal.

Ook treedt bij absorptie van signalen ruisemissie op.
Het ontvangen signaal kan als volgt gekarakteriseerd worden:

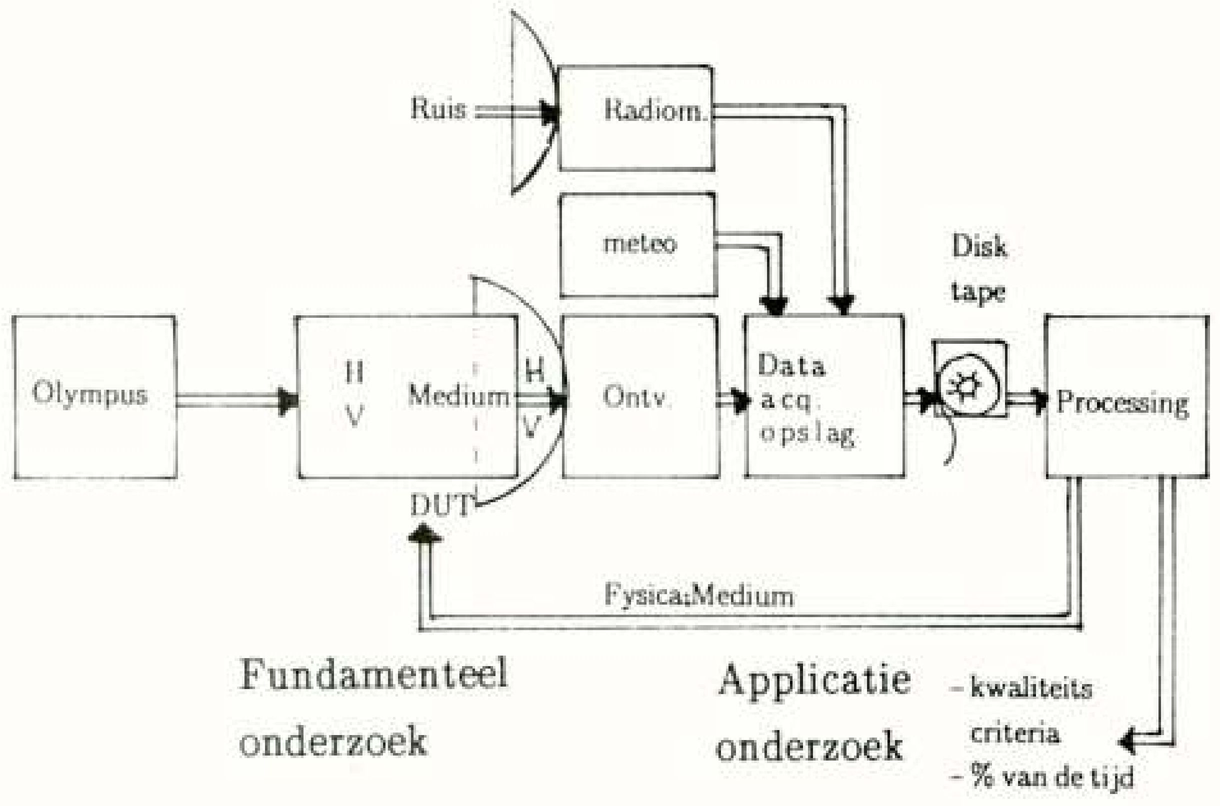
$$v(t) = l\{a(t)\}\cos[(\omega_H+\Delta\omega)t+\varphi(t)]+n(t)+R(t) \qquad (1)$$

waarbij

- l : vrije ruimte demping
- $a(t)$: amplitudemodulatie, regendemping
- $\Delta\omega$: Doppler hoekfrekwentie
- ω_H : hoogfrekwent draaggolf hoekfrekwentie
- $\varphi(t)$: fasemodulatie door looptijdverschillen
- $n(t)$: ruis
- $R(t)$: overspraak van bijvoorbeeld V naar H.

Het meetprobleem komt dus neer op demodulatie van een gemoduleerde draaggolf, met name amplitude en fase demodulatie. Wel moet bedacht worden dat de "sterkste" signalen zwakker zijn dan –100 dBm.

Het onderzoek valt in twee hoofdgebieden zoals daar zijn het fundamentele (achtergrond) onderzoek en het toepassingsgericht onderzoek. Het fundamentele onderzoek wordt gedaan uit een nieuwsgierigheid naar het wezen van de golfvoortplanting en het applicatie–onderzoek dient vooral de toepassing in de telecommunicatie. Schematisch is één en ander in figuur 2 aangegeven.



Figuur 2: Propagatie–onderzoek aan de TUE naar toepassings–veld.

De te meten grootheden zijn aangegeven in tabel 1.

Tabel 1: Te meten grootheden TUE–Olympus projekt

Hoofdpolarisatie	→ 12,5/20/30 GHz
Kruispolarisatie	
Relatieve fase	
Antenne ruistemperatuur	
Scintillatie	
Meteorologische parameters: p, T, e, regen, wind	

In tabel 2 is een opsomming gegeven van de velden van propagatie–onderzoek.

Tabel 2: Velden van propagatie–onderzoek TUE Olympus projekt

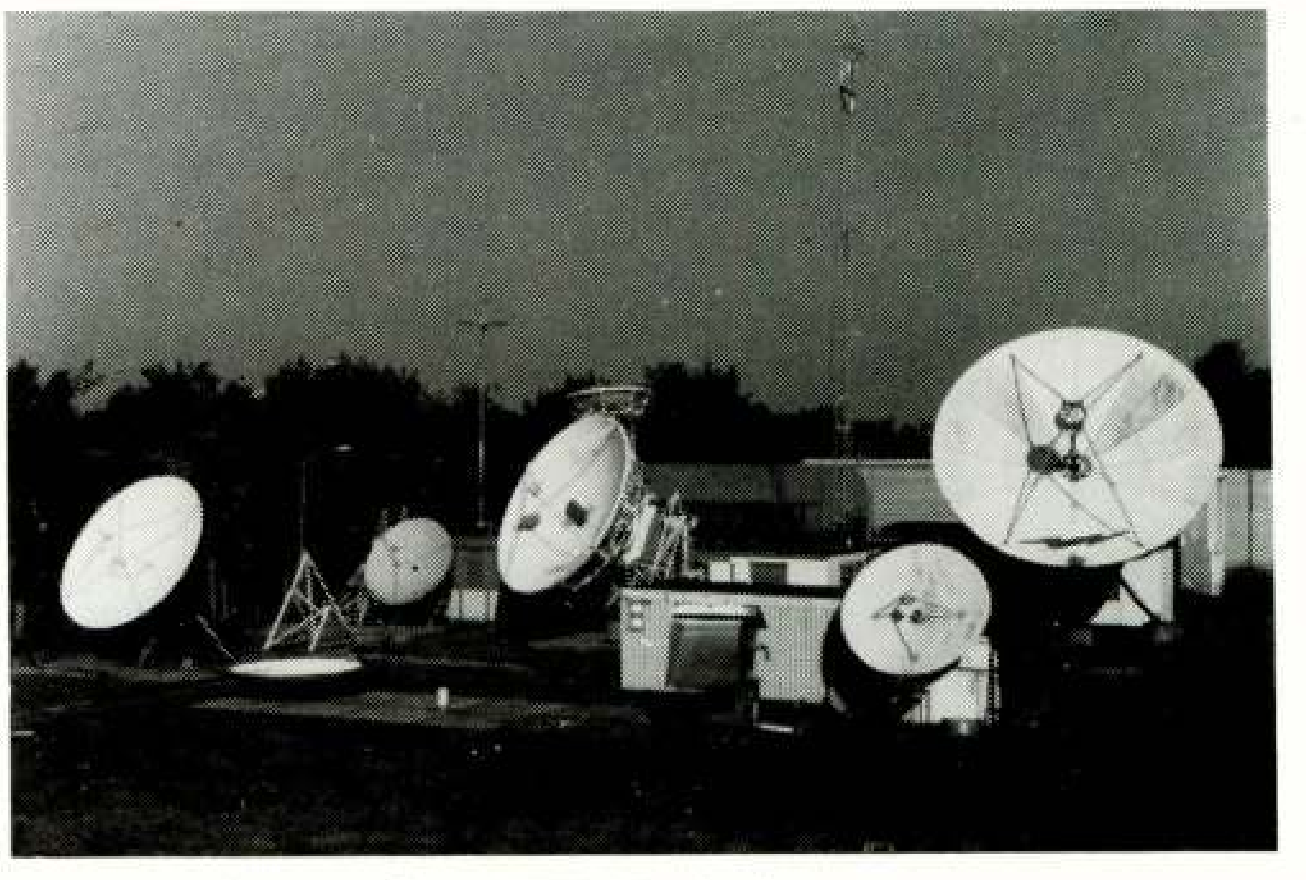
Lange termijn statistieken, histogram, cumulatieve distributie
Gebeurtenis analyse, tijdsduur van regendemping
Correlatie analyse, spectra, scintillatie–onderzoek
Analyse van gebeurtenissen met de fase
Dynamisch karakter van de demping
Medium temperatuur, grondscatter van ruis
Voorbij trekkende regenbuien door antennebundel
Kruispolarisatie kompensatie
Uplink, vermogensregeling
Diversity over korte afstand (1000 m)

4. <u>Implementatie van de meetopstelling</u> [1]

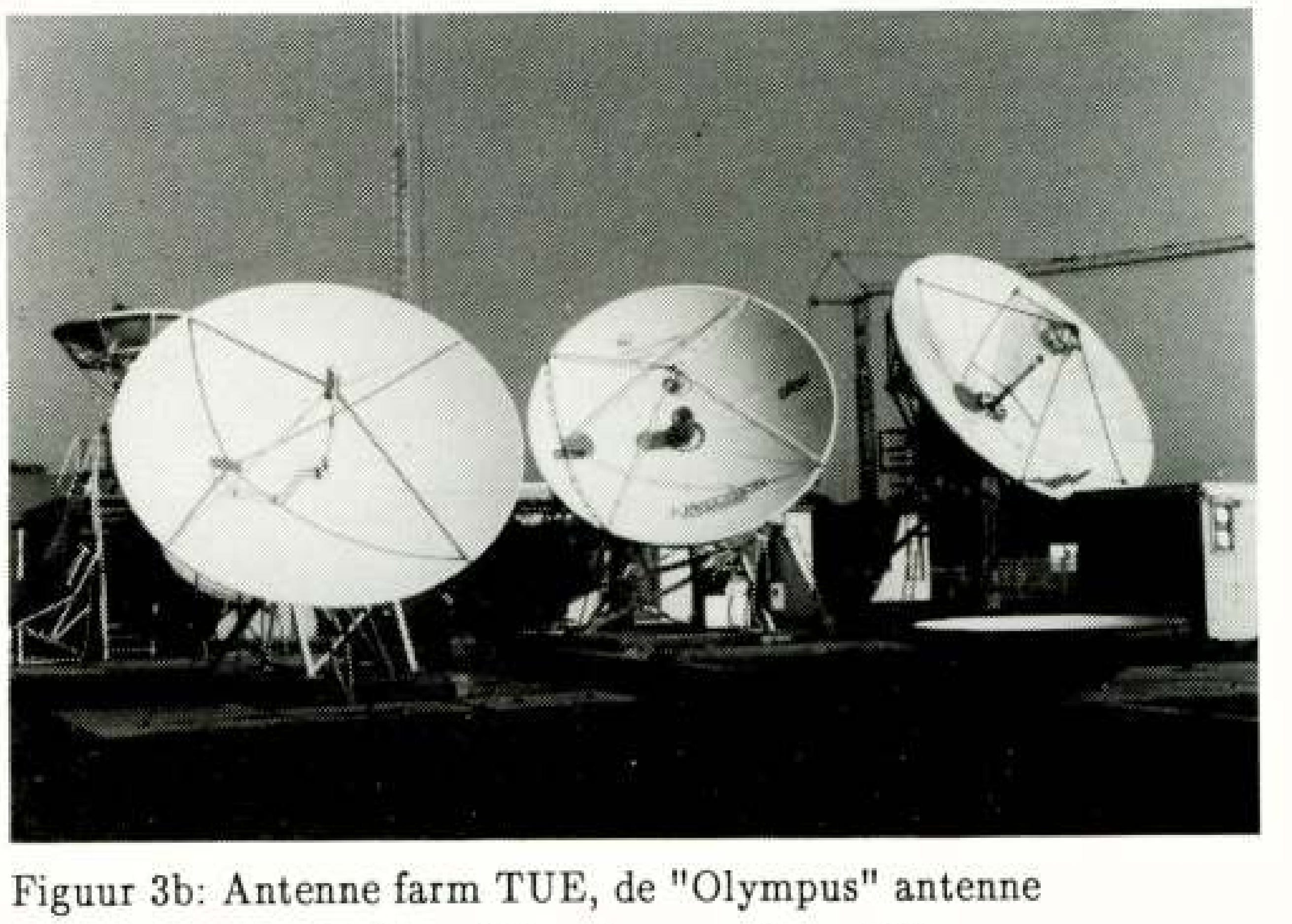
Als voorbereiding op de bouw van de definitieve meetopstelling werd begonnen met de opzet van een "Testbed" voor satelliet baken ontvangst van een communicatiesatelliet bij 11,45 GHz en een "Testbed" voor ruismetingen.

Het voordeel hiervan was dat de diverse subsystemen steeds getest konden worden in een werkelijke opstelling met "echte" signalen en die wijken vaak af van signalen uit signaalgeneratoren zoals het fasespektrum met de Doppler verschuiving inclusief het lage niveau zonder dat het signaal ook "buitenom" binnenkomt.

Uit figuur 3 is een indruk te krijgen van het Testbed. In het midden de radiometer en rechts de volgantenne met diameter van 8 m.



Figuur 3a: Antenne farm TUE: Testbed 1989.

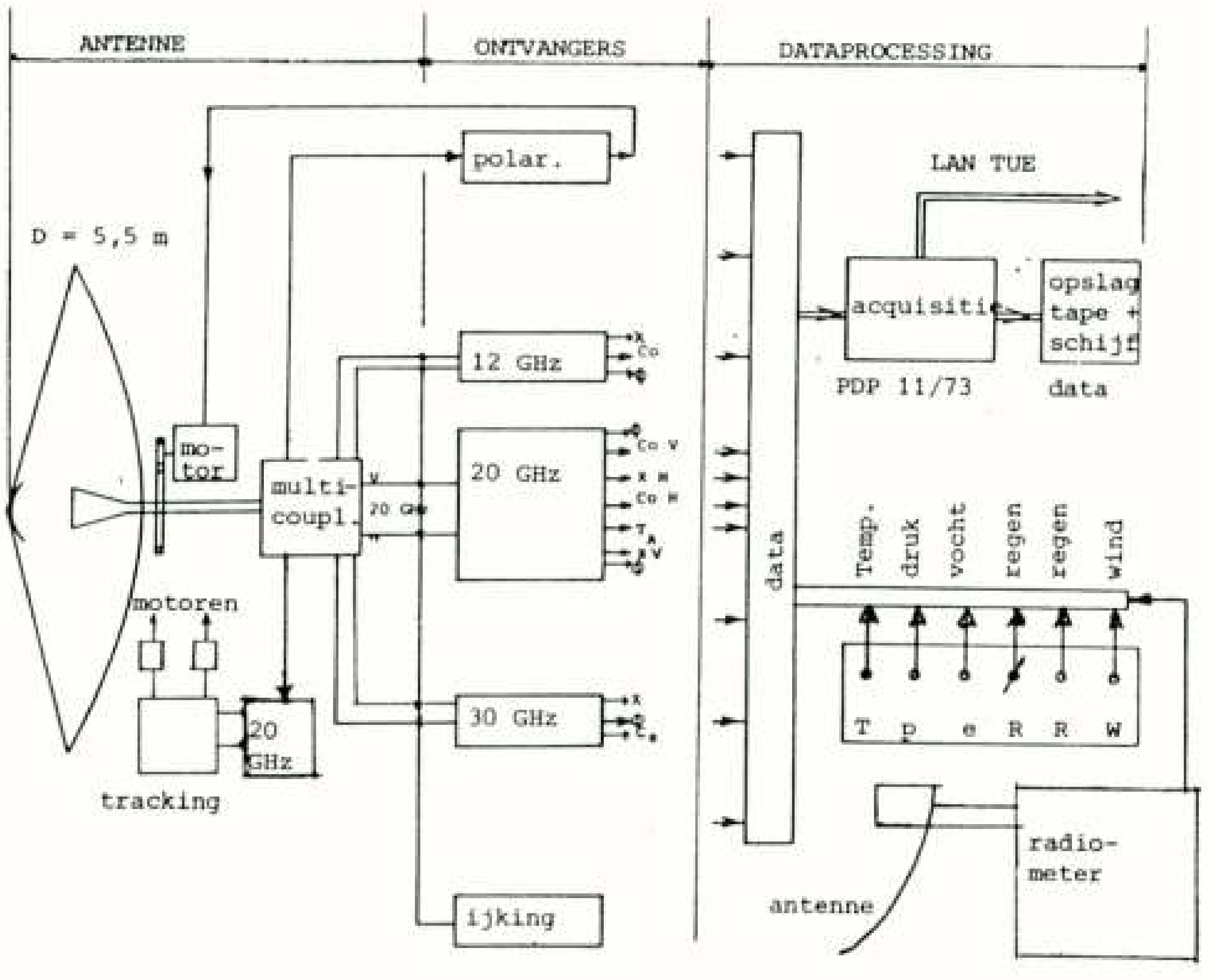


Figuur 3b: Antenne farm TUE, de "Olympus" antenne geflankeerd door twee zusterprojekten.

Met dit testbed kon ook nog een bijdrage worden geleverd aan het feitelijke propagatie–onderzoek. Bovendien kon worden waargenomen dat het in bedrijf houden van een meetopstelling gedurende langere tijd en 24 uur per dag, veel inspanning vereist zeker in een niet "bedrijfs"–omgeving.

In figuur 4 is een blokschema van de meetopstelling gegeven van het Olympus propagatieprojekt aan TUE.

In principe bestaat een propagatie meetopstelling uit de antenne, de ontvanger en de data acquisitie apparatuur met software.



Figuur 4: Blokschema van het Olympus propagatie meetsysteem van TUE.

4.1. De antenne

Bij het ontwerp van het antennesysteem is als uitgangspunt genomen de gedachte dat alle te meten signalen van de satelliet door één antenne dienen te worden afgeleverd inclusief signalen die de antenne automatisch "gericht" moeten houden. Totaal levert de antenne dan acht (8) signalen af op 12,5/20/30 GHz.

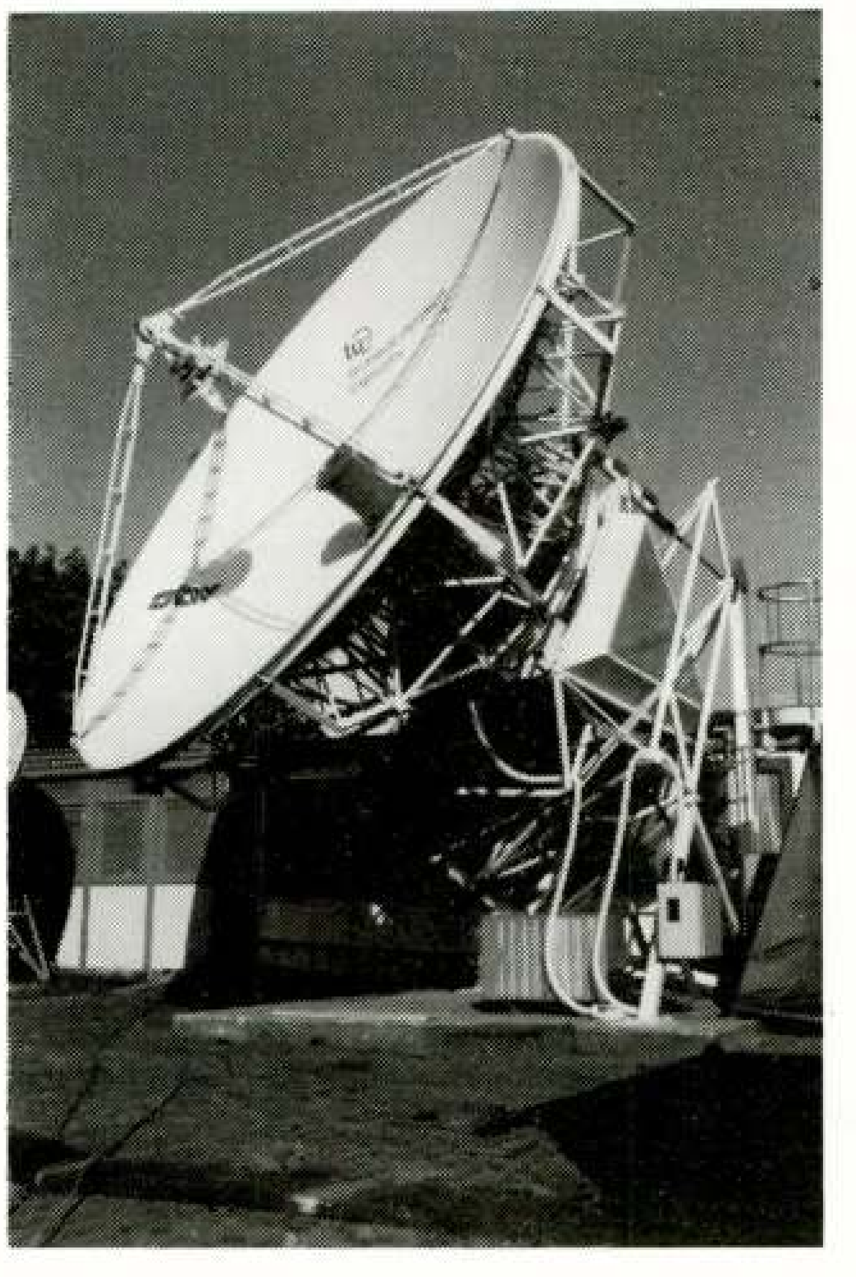
Een driefrekwentie antenne is nog tamelijk uniek te noemen. Nieuw aan dit antennesysteem is verder de konstruktie van de antennestoel. Normaal heeft een antenne draaipunten teneinde een antenne–instelling te bewerkstelligen. De antenneschotel is nu opgehangen aan buigende staven om zodoende de vereiste antennebewegingen te krijgen door buiging van de staven. Het probleem van de stilstaande wrijving is hiermee ondervangen. De antennestoel is geschikt voor het "volgen" van geostationaire satellieten èn is dus beperkt instelbaar, doch met zeer grote nauwkeurigheid. Voor de toepassing bij telecommunicatie is dit niet noodzakelijk doch voor het kruispolarisatie–onderzoek is een grote antenne noodzakelijk die bovendien nauwkeurig te positioneren is. Dit wordt niet altijd onderkend. In figuur 5 is de antenne aangegeven en figuur 6 geeft een indruk van de stoel–konstruktie. In tabel 3 en 4 is de specificatie van de 5,5 m antenne gegeven. Voor de ruismetingen is een apart systeem genomen.

De antenne is in staat om de Olympus satelliet te "volgen" op de volgende manieren met behulp van een PC: [3]

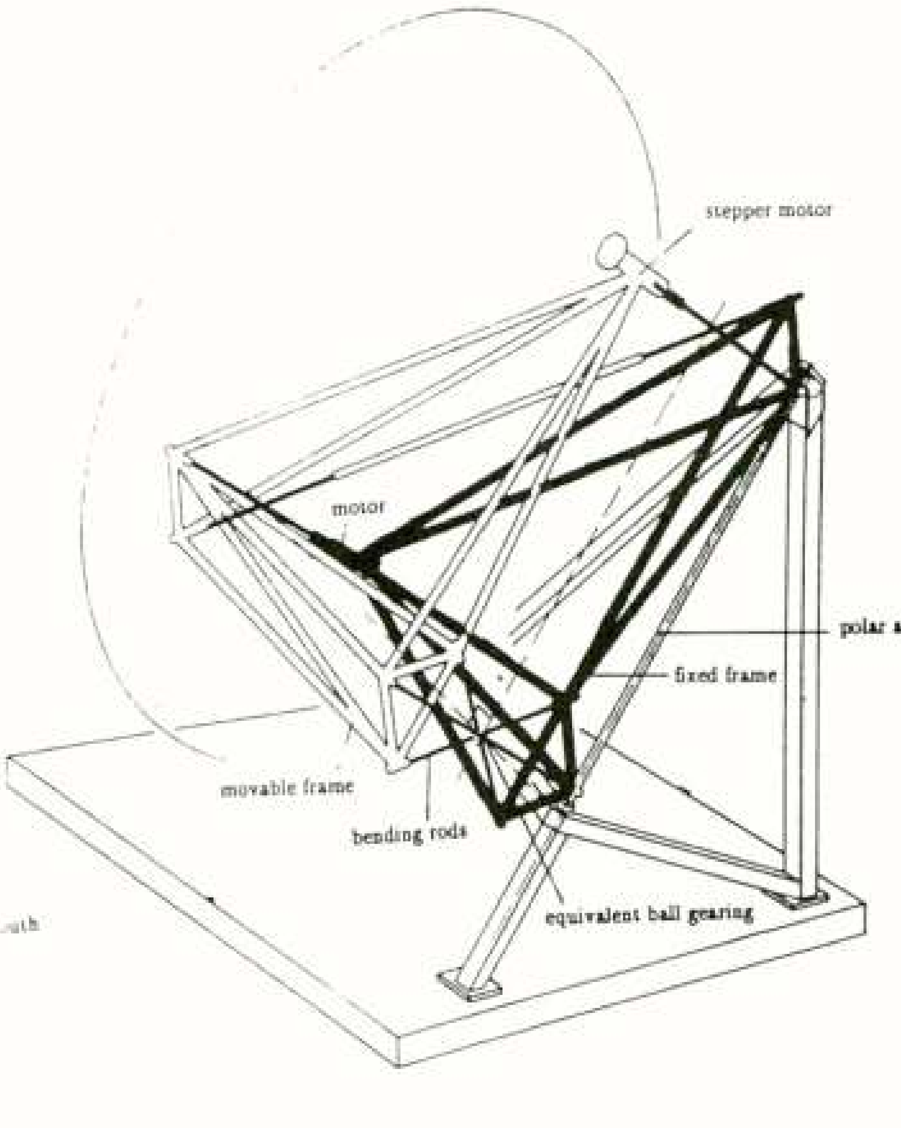
- handinstelling door invoer van hoekstanden
- programma instelling: de baan van de satelliet is op voorhand bekend
- automatisch volgen door "steptrack" en door een monopuls volgsysteem. [4]

4.2. De ontvanger

Het "geheim" van de ontvangst en optimale detektie van zwakke signalen (–120 dBm) 12/20/30 GHz in ruis geserveerd, is gelegen in de toepassing van fasevergrendelde ontvangers (PLL) en zeer stabiele oscillatoren met weinig faseruis. De TUE–ontvangers (12/30 GHz) werken daarbij met één middenfrekwentie (10 MHz) en een versterking van 120 dB, dit in verband met een eenvoudige genormaliseerde konstruktie. Voor de ontvangst van de 20 GHz signalen en de antenne volgsignalen wordt gebruik gemaakt van een RNL–ontvanger die voor gebruik in het TUE grondstation geschikt gemaakt is.



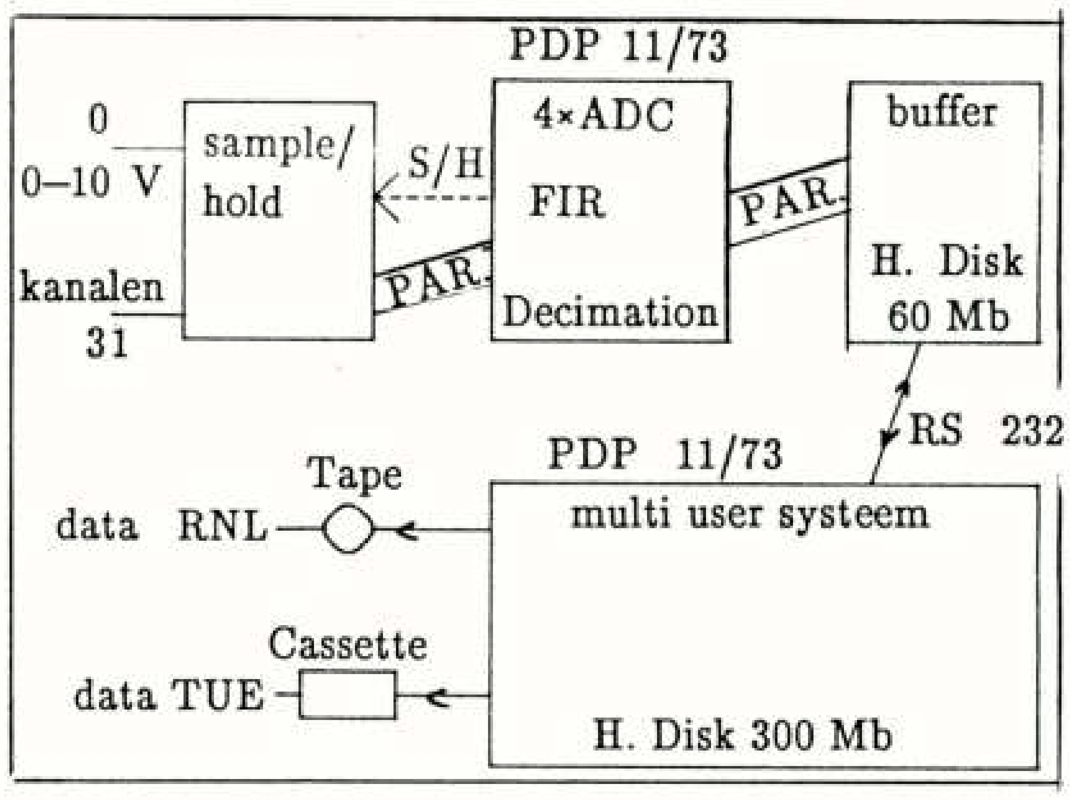
Figuur 5: De antenne voor het TUE Olympus projekt. Antenne diameter 5,5 m.



Figuur 6: De antenne stoelkonstruktie volgens het principe van buigende staven.

Tabel 3: Specificatie van de geometrie van de TUE Olympus antenne.

Systeem principe:	Cassegrain antenne, parabool, hyperbool, vier uithouders
Belichter:	Scalaire hoorn, 12,5/20/30 GHz
Diam. hoofdreflector:	5,5 m
Diam. hulpreflector:	0,55 m
F/D:	0,3514
Diepte vertex:	0,9783 m
Oppervl. tolerantie:	0,25 mm (rms)
Eccentriciteit e:	1,234
"Magnification" M:	e+1/e–1 = 9,56
Brandpunt van de belichter ligt in vertex	
Omvatte hoek hulprefl.	17,028°



Figuur 7: Data acquisitie apparatuur t.b.v. TUE Olympus propagatie projekt.

Tabel 4: Specificatie van de antenne "stoel" voor het TUE Olympus projekt.

ANTENNE STOEL

- Polaire "stoel" voor geost. sat.
- Principe volgens "buigstangen"
  - Geen bewegende onderdelen
  - Geen stilstaande wrijving, springen
  - Geen backlash, hysterese
- Instelbaarheid Δ az, Δ el → ± 3,5°
- Aandrijving: microstepper mot.
  250 – 25000 stap/omw.: softw. instelb.
- Worm + wormwiel; 60:1
- Eén omw. geeft 5 mm verplaatsing van staaf
- Eén omw. geeft 0,1° as draaiing
- Nauwk. voor 30 GHz
  $\theta_{3\,dB}$ = 0,14° → Co polar 0,014°, X polar 0,0014°
- Elke 0,1° verdraaiing 1,5.10^6 stappen
- Encoder: 8 bits → 256 voor een omw. worm.

Tabel 5: Specificatie van data–acquisitiesysteem t.b.v. TUE Olympus propagatie projekt.

Acquisitie en preprocessing–eenheid:		
Aantal kanalen (analoog 0–10 volt)		32
Anti–aliasing filter (f in Hz)		33
Bemonsterfreq. gelijktijdig alle kanalen		96
FIR filter		
96 Hz naar 12 Hz		
12 Hz naar 6 Hz	5 statistische kanalen	
12 Hz naar 3 Hz	kanaal 0/7 satellietsignaal	
12 Hz naar 1 Hz	kanaal 8/32 meteo etc.	
Frontend computer		
type PDP 11/73 met rekenprocessor		
AD converter 12 bit		
parallel transport buffercomputer		
20 Mbyte hard disk		
Buffer computer		
XT–PC computer		
60 Mbytes hard disk		
parallel transport van frontend computer		
RS 232 data transport naar Host computer		
Host computer		
type PDP 11/73 met rekenprocessor		
300 Mbytes hard disk		
RS 232 data transport van buffer computer		
multi user system TSX 6.1 (5 users)		
Mass storage		
tape wheels 31 Mbyte (t.b.v. RNL contract)		
cassette 60 Mbyte (t.b.v. data processing TUE)		

4.3. Data acquisitie, opslag en verwerking [5]

De analoge signaalkanalen (32) worden gedigitaliseerd met een sample frekwentie van 96 Hz waarna digitale filtering en "decimation" naar 1 en 3 Hz datastroom plaats vindt, dit met behulp van een PDP 11/73 computer. Na transport op geschikte tijdstippen wordt de data opgeslagen op een schijvenpakket (300 Mb) van een tweede PDP 11/73 multi–user computer. Na een aantal voorbewerkingen ontstaan zogenaamde "ruwe data files" (RDF) en "standaard event files" (SEF).

Deze files kunnen op "tape" worden opgeslagen en aan derden worden toegezonden voor verdere dataverwerking en kunnen worden opgevat als het verkregen ruwe produkt.

Vervolgens kunnen de diverse onderzoekingen beginnen in de vorm van fundamenteel onderzoek en toepassingsgericht onder–zoek. Voor een overzicht van de data–acquisitie apparatuur zie figuur 7. Voor een specificatie van deze apparatuur zie tabel 5.

5. Radiometrie [2]

Een radiometer is een instrument voor het meten van (zeer kleine) ruisvermogens en bestaat bij het propagatie–onderzoek uit een antenne en een ontvanger.

Gemeten wordt het door de troposfeer opgewekte ruisvermogen dat wordt gegenereerd binnen de bundel van de radiometer–antenne. De antennebundel staat gericht op de Olympus satelliet.

Het gemeten ruisniveau bij droog, helder weer wordt gebruikt als referentieniveau voor de propagatiemetingen. Tevens wordt de correlatie bepaald tussen atmosferisch ruisniveau en de optredende propagatiedemping en wordt de zgn. mediumtemperatuur berekend. Radiometrische metingen zijn onontbeerlijk voor verantwoord microgolfpropagatie–onderzoek met satellieten. Voor het Olympus propagatie–onderzoek is een radiometer ontwikkeld met de volgende (nieuwe) eigenschappen:

- Eén antenne voor 12/20/30 GHz
- Een nieuw type antenne
- Ontvanger met grondwaterkoeling en (mede daardoor) grote stabiliteit.

Allereerst zijn de principes van de radiometer getest met een "Testbed radiometer". Vervolgens werd de radiometer voor het Olympus projekt ontworpen en gebouwd. Figuur 8 geeft een beeld van het antennesysteem. Tabel 6 toont de specificatie van de antenne. In Tabel 7 is de ontvanger specificatie weergegeven.
De ijking van de radiometer vindt plaats met behulp van een speciaal ontwikkelde "koude" (77 K) aangepaste antenne–belasting, zodat ijking plaatsvindt direkt in het belichter apertuurvlak.



Figuur 8: Proefopstelling van de radiometerantenne voor TUE "Olympus" propagatie projekt.

6. Radiometeorologie

In het kader van het onderzoek is het noodzakelijk om radio–meteorologische metingen te verrichten. De volgende grootheden worden gemeten:

- Temperatuur
- Luchtdruk
- Vochtigheid
- Windsnelheid
- Windrichting
- Regenintensiteit.

Radiometeorologische metingen verschillen van meteorologische metingen vooral in de gebruikte tijdconstanten en meetnauw–keurigheid. De fijnstruktuur van het verloop van de grootheden is bij deze propagatiemetingen vaak van belang.

Tabel 6: Specificatie van de radiometerantenne voor het TUE Olympus projekt.

Mechanische eigenschappen:	
Antenne type: vier reflector Gregorian	
Apertuur afmetingen: 1,5 m × 1,5 m	
Belichter type: corrugated conische hoorn	
Belichter apertuur: 0,18 m	
Elektrische eigenschappen:	
Halfwaarde openingshoek	
bij 12,7 GHz :	1,1 graad
bij 20,0 GHz :	0,7 graad
bij 29,8 GHz :	0,5 graad
Zijlus onderdrukking:	>25 dB
Polarisatie:	vertikaal
Antenne ruistemp.:	< 20 K
Aanpassing $\lvert\rho\rvert$:	< 0,005
Antenne integratie faktor in een conus van 5 graden:	≥ 0,97

Tabel 7: Specificatie van radiometer voor TUE Olympus projekt

Type radiometer:	Dicke
Centrale frekwentie:	12,7/20/29,8 GHz
Middenfrekwentie:	60 MHz
Middenfrekwent BB:	100 MHz
Systeem ruistemp.:	$(1100+T_a)$ K
Meetbereik:	0–315 K
Calibratiebereik:	32 K volle schaal
Integratie tijdconstante:	1–5 sec.
Uitgangsresolutie (τ=2s):	0,2 K
Lange termijn stabiliteit:	beter dan 1 K/maand
Calibratiemethode:	koude/warme belasting
Herhaalde calibratie:	1 K
Meetnauwkeurigheid:	4 K
Temperatuur van ontvanger:	315 K ± 0,5 K
Uitgangsspanning:	0–10 V
Uitgang naar recorder:	0–1 V

7. Samenvatting

- Het belang van het microgolf propagatie–onderzoek voor de verdere ontwikkeling van de satellietcommunicatie werd aangegeven.
- Het Olympus propagatie–experiment voorziet daarbij in een behoefte.
- Doelstellingen voor het onderzoek werden geformuleerd.
- De middelen om de doelstellingen te bereiken zijn besproken.
- Deze middelen bestaan uit meetopstellingen voor satelliet bakenontvangst, voor radiometrische metingen en voor radio meteorologische metingen.
- Een aantal nieuwe ontwikkelingen werden besproken, met name de antennes voor drie frekwenties, de radiometer antenne met lage zijlussen, de nauwkeurige positioneerinrichting van de volgantenne.
- Gehoopt wordt tenslotte op een vruchtbare voortzetting van het Olympus propagatie–experiment.

8. Nawoord

Is propagatie–onderzoek luxe?

Ja:
- Het meetwerk duurt te lang; is te duur.
- Laat anderen het maar doen.
- Kijk maar in de literatuur.
- Ze weten toch niet wat je als systeemingenieur wilt weten.

Nee:
- Propagatie meetgegevens komen niet meer voor niets van geprivatiseerde "anderen".
- Eigen expertise spaart toch geld (op den duur).
- De verantwoordelijkheid voor een goed beheer van een zeldzaam "goed"; het frekwentiespektrum voor tele–communicatie. [6]

Met dank aan alle middelenverstrekkers zoals daar zijn: Technische Universiteit Eindhoven, de Faculteit Elektrotechniek, de Stichting voor de Technische Wetenschappen, het Research Neher Laboratorium en de diverse kontraktpartners bij de "Spin Off" met name INTELSAT en NUFFIC.
Tenslotte veel dank aan de "werkers" in dit TUE Olympus projekt.

Literatuur

1 Dijk, J., "Introduction to the EUT Olympus Participation", Proceedings of the 12th Meeting of Olympus Propagation Experimenters, Vienna, 10th – 12th April 1989.

2 Dijk, J., B. Stal, "Radiometry for the Olympus Project", Proceedings of the 12th Meeting of Olympus Propagation Experimenters, Vienna, 10th – 12th April 1989.

3 Holleboom, K.G., "A computer controlled leadscrew system for the Olympus antenna", Proceedings of the 12th Meeting of Olympus Propagation Experimenters, Vienna, 10th – 12th April 1989.

4 Holleboom, K.G., "Self learning steptrack system to point an antenna at a geostationary satellite using a PC", IEEE Transactions on Consumer Electronics, pp. 481–487, Oral presentation Chicago, USA, June 4, 1987. Int. Conf. on Consumer Electronics, May 1988.

5 Holleboom, K.G., "Data processing Olympus propagation project Eindhoven University of Technology, The Netherlands", Proceedings of the 11th Meeting of Olympus Propagation Experimenters, Copenhagen, June 15–17, 1988.

6 – TELECOMMUNICATION is defined as the transmission, emission or reception of any signs, signals, or messages, by electromagnetic systems
ITU, RR 1986.
– RADIO COMMUNICATIONS
Telecommunication by means of radio waves.
– RADIO WAVES (Hertzian Waves)
EM waves of frequencies lower than 3000 GHz propagated in space without artificial guide
– ELECTRONICS
The science and technology relating to the conduction of electricity through gases, vacuum or semiconducting materials.

Voordracht gehouden tijdens de 367e werkvergadering.

Het site-diversity propagatie-experiment van het PTT Research Neher Laboratorium met de satelliet Olympus

ir. J.R. Schmidt
PTT Research Neher Laboratorium

The site-diversity propagation experiment of the PTT Research Neher laboratories with the satellite Olympus. Research on the propagation of radiowaves at Ka-band has been made possible with the satellite Olympus. The exploitation of this frequency band for satellite and terrestrial services are forseen in the near future. The main drawback in using these frequencies is the sever deterioration of radiosignals due to heavy rain showers.

To collect sufficient propagation data, in order to study a wide range of propagation aspects in relation with fade countermeasures and networkplanning, a site-diversity network has been set up. At two points spaced 10 kilometers apart two identical earthstations are receiving the 12.5 and 30 GHz Olympus beacon signals. Supporting these measurement data , extensive meteorological observations are performed in close cooperation with the Technical University of Delft.

A system overview of the experiment and some design aspects of the diversity stations will be presented in this paper.

1 INLEIDING

Met de satelliet 'Olympus', gelanceerd op 12 juli 1989, beschikt Europa over een geavanceerd ruimteplatform op 19° W voor demonstratie en onderzoeksdoeleinden. Een groot aantal experimenten staan reeds voor de komende jaren op het programma.
Bovendien wordt het voor Europa de eerste maal, dat ook voor de Ka-band in communicatie- en propagatieproeven is voorzien. De Ka-band is de eerstvolgende, hogere frequentieband bestemd voor aardse straal- en satellietverbindingen. De 'downlink' frequenties (richting aarde) liggen rond de 20 GHz en de 'uplink' frequenties (richting satelliet) rond de 30 GHz.

Kenmerkend voor dergelijke hoge frequenties is de grotere invloed van de meteorologische omstandigheden in de atmosfeer op de voortplanting van radiogolven. Vooral de hoge regendemping kan een beperkende factor zijn in het aanwenden van deze hoge frequenties voor communicatiedoeleinden.
Propagatie-onderzoek vormt daarom een belangrijk onderdeel in de exploratie van de Ka-band.
Om hierin tegemoet te komen is Olympus uitgerust met een drietal bakenzenders op respectievelijk 12.5, 20 en 30 GHz. Dat biedt de mogelijkheid verstoringen (demping, depolarisatie e.d.) op het pad van een 'staande' verbinding te registreren.

Om voor de verschillende Europese klimaatzones de propagatiekennis tot in de Ka-band uit te breiden worden door diverse organisaties en instituten meetcampagnes gestart aan deze bakensignalen. Overleg tussen de onderzoeksteams vindt plaats in de 'Olympus Propagation Experiments' (OPEX) vergaderingen.
In Nederland zijn dat het PTT Research Neher laboratorium (RNL) en de Technische Universiteit Eindhoven (TUE). De Technische Universiteit Delft(TUD) verricht met radartechnieken onderzoek aan de troposfeer en fijnstructuur van neerslag. Een deel van de TUD activiteiten valt in het kader van het RNL-onderzoek.

Het RNL gaat in het kader van het Olympus propagatie-onderzoek een site-diversity experiment uitvoeren.
Site-diversity is een techniek om met meerdere antennes (minimaal twee) de fadingbestendigheid van een satellietverbinding te vergroten. De diversity winst hangt af van de antenneafmetingen, de onderlinge afstand en de geometrie ten opzichte van de satelliet. Het risico, dat een verbinding wordt getroffen door een ontoelaatbare fading, wordt op deze wijze gespreid. Met een juiste dimensionering van zo'n diversity opstelling kan dus in de meest voorkomende gevallen via één van de antennes naar een gunstige propagatieconditie geschakeld worden. Nadeel is de extra antennecapaciteit, die de meeste tijd 'stand by' staat. Een mogelijkheid is deze voor een minder kritische dienst te gebruiken. ('clear weather services')
Voordeel van deze techniek blijft het gebruik van relatief kleine antennes. Het RNL gebruikt zo'n diversity opstelling in combinatie met uitgebreide meteorologische waarnemingen, waaronder radarmetingen. Zodoende komt voldoende informatie beschikbaar om een scala aan propagatievraagstukken aan te kunnen pakken.

1.1 Actualiteit van het onderzoek

Met de Ka-band staan we op de drempel van het zogenaamde millimetergebied. Hoewel dit golflengtegebied al decennia onderwerp van onderzoek is, heeft het nooit geleid tot een grootschalige praktische toepassing in de telecommunicatie.

Een mogelijke aanwending voor geleide transmissie in gesloten golfgeleiders is volledig overvleugeld door het succes van de optische transmissie in glasvezel. En radiotransmissie bij dergelijke kleine golflengtes is niet aantrekkelijk vanwege de hoge regendemping.

Het uitblijven van een grootschalige toepassing heeft tot gevolg dat ook de technologie nog steeds extreem duur is en meestal typisch geschikt in een

research-omgeving of exclusief voor militair gebruik. Er zijn echter redenen om aan te nemen, dat dit drastisch gaat veranderen:

1. frequentieschaarste in de lagere banden.
   Het intensiever radioverkeer en gemeenschappelijk gebruik van de lagere frequentiebanden voor satelliet- en straalverbindingen levert een steeds grotere kans op storingen.

2. parkeerproblemen in de geostationaire baan.
   Het groeiend aantal geostationaire satellieten met dezelfde frequenties en opererend in hetzelfde verzorgingsgebied maakt de positietoewijzing steeds lastiger. De eisen ten aanzien van de ruimtelijke selectiviteit van de grondstations (antennepatroon) staan daarom onder druk. Daarbij komt nog het voorstel om de afstand tussen de satellieten onderling te verkleinen.

3. verschuiving in de toepassing van satellietcommunicatie.
   Veel nieuwe toepassingen voor zakelijk dataverkeer en satelliet- omroep gaan uit van goedkope kleine stations dicht bij de gebruiker. Deze trend staat op gespannen voet met de ontwikkelingen genoemd onder punt 2.

4. stand van de techniek.
   Er is grote vooruitgang geboekt in de halfgeleidertechnologie en integratietechnieken voor zeer hoge frequenties. De resultaten zijn veelbelovend voor de ontwikkeling van goedkope millimetergolfcomponenten. (Dit heeft overigens niet alleen gevolgen voor de satellietcommunicatie, maar ook voor andere radiotoepassingen.)

5. specifieke voordelen van het millimetergebied.
   Met het millimetergebied beschikken we over een enorme spectrale ruimte.

De voorwaarden zijn dus gunstig om de hogere frequentiebanden te verkennen; het onderzoek naar de praktische mogelijkheden is enerzijds een noodzaak, anderzijds biedt de huidige stand van de techniek een reëel perspectief om dit deel van het frequentiespectrum grootschalig te exploiteren.

Een onderzoeksgebied, dat in dit kader aan belangstelling wint, is de zogenaamde actieve fadingbestrijding. Site-diversity is hiervan een voorbeeld.

1.2 Fading bestrijding

Uit eerdere proefnemingen is gebleken dat signaaldempingen tot meer dan 20 dB tijdens een hevige regenbui kunnen voorkomen. Een vaste systeemmarge in rekening brengen, zoals gebruikelijk in de lagere banden, leidt tot een onrendabele overdimensionering indien een hoge kwaliteit en beschikbaarheid wordt verlangd.
Natuurlijk kan gekozen worden voor een bescheiden marge. Het hangt van de toepassing en de gebruikersaspecten af, welke eisen aan een verbinding worden gesteld.
Er bestaan ook methoden waarmee fading op een actievere manier kan worden bestreden. Zo kan paddemping worden gecompenseerd door het uplink vermogen aan te passen ('uplink power control'), over te gaan op een lagere frequentieband ('frequency diversity') of langs een regenbui te kijken ('site-diversity'). In het geval van digitale systemen kan de bitsnelheid en/of de codering worden aangepast om de gewenste kwaliteit (bit error rate:BER) te halen, ten koste overigens van frequentiebandbreedte en/of informatiesnelheid.

In de praktijk zal een combinatie van dergelijke technieken worden toegepast, teneinde de gewenste margeverbetering te bereiken. De adaptieve fading bestrijding staat in feite nog in de kinderschoenen. Hier en daar wordt het in de Ku-band (11/14 GHz) al aan de praktijk getoetst.
Hier is propagatie-onderzoek onmisbaar om inzicht te krijgen in de optimale strategie, die gevolgd moet worden om adequaat te anticiperen op een dreigende uitval van een verbinding.

2 HET RNL SITE-DIVERSITY EXPERIMENT

2.1 Doelstelling

De doelstelling van het experiment is breder dan de naam doet vermoeden. Het gaat niet alleen om de ontwerp-pararameters voor de site-diversity techniek, maar ook om inzicht te krijgen in de dynamische aspecten van fading in het algemeen. Dit is onder andere van belang voor elke vorm van adaptieve fading bestrijding en planning van lokale radionetwerken.

Naast de ontvangst van de bakensignalen op 12.5 en 30 GHz met twee identieke stations, zullen ook uitgebreide meteorologische waarnemingen worden uitgevoerd. Een en ander gebeurt in samenwerking met de TUD (radarmetingen).

De doelen van dit experiment zijn in het kort als volgt samen te vatten:

1. statistische informatie verzamelen omtrent signaaldemping en depolarisatie in de Ka-band;

2. ontwikkeling van betrouwbare propagatie predictie modellen, waarbij het dynamisch gedrag en de structuur van regencellen worden meegenomen;

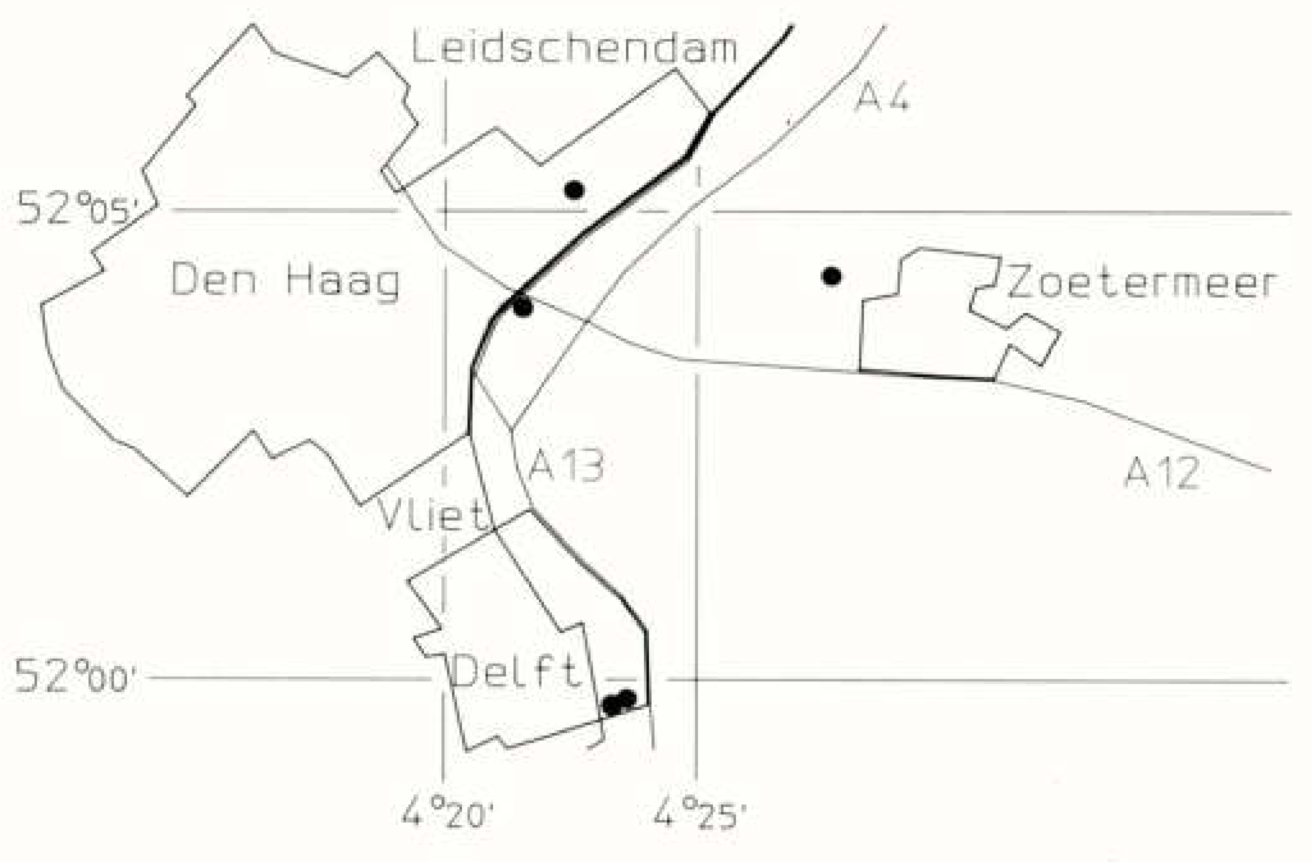
3. specifieke informatie verzamelen betreffende fading bestrijdingstechnieken;

2.2 De inrichting

De instrumentatie voor het experiment bestaat uit de volgende onderdelen:

- twee grondstations met een antennediameter van 2.5 meter;
- twee radiometers;
- vier regenmeters;
- een data-acquisitie netwerk;
- de TUD rondzoekradar;

De grondstations, vergezeld van een radiometer, staan respectivelijk bij het RNL en op de hoogbouw van Elektrotechniek van de TUD. De vier regenmeters staan respectievelijk bij het RNL, TNO laboratorium te Delft, afdeling Logistiek Telecom en in Zoetermeer. In figuur 1 zijn de locaties in kaart gebracht.



figuur 1. overzicht meetlocaties

De **afstand tussen de grondstations bedraagt** circa 10 kilometer. De meetdata worden online via het acquisitie netwerk verzameld op het RNL. Voor calibratiedoeleinden van de rondzoekradar kunnen de registraties worden opgevraagd door de TUD.

De grondstations ontvangen de 12.5 en 30 GHz bakensignalen in twee orthogonale polarisaties. Per polarisatierichting wordt de amplitude en fase van het binnenkomend signaal geregistreerd. De radiometers meten de ruistemperatuur in de richting van de satelliet. Achteraf wordt de informatie van de radiometers gebruikt om de meetdata van de stations te corrigeren op signaalfluctuaties, die niet afkomstig zijn van de atmosferische invloed, zoals vermogen variaties van de bakenzenders.
De regenmeters registreren de regenintensiteit achtereenvolgens in de nabijheid van de stations, midden op de diversity baseline en op de rand van de sector, die door de rondzoekradar wordt bestreken.

De complete instrumentatie, uitgezonderd de rondzoekradar, is op het RNL ontwikkeld. De radiometers en regenmeters zijn produkten, die in het recente verleden zijn ontwikkeld in het kader van eerdere experimenten.
Hieronder zal nader worden ingegaan op de instrumentatie, die speciaal voor dit experiment is ontwikkeld t.w.: de data acquisitie en de diversity stations.

2.2.1 De data acquisitie

Het data acquisitie netwerk zorgt voor het transport en de opslag van alle registraties, uitgezonderd de rondzoekradar. Centraal staan twee frontend processors en een minicomputer. De frontend processors staan op locatie vlakbij de diversity stations, terwijl de minicomputer (de 'master') op het RNL staat. De minicomputer regelt de communicatie in het netwerk en verzorgt tevens voor de opslag van de data. De frontend processors fungeren als tussenstation; ze halen de meetdata binnen afkomstig van de meetinstrumenten en sturen deze door naar de 'master'.

Mocht de verbinding tussen de frontend processors en de 'master' tijdelijk onderbroken worden (door b.v. onderhoudswerkzaamheden of storing), dan slaan de frontend processors de meetdata op in een buffer. Zodra de communicatie is hersteld, wordt de buffer volgens een bepaalde procedure 'opgeschoond'. In figuur 2 is het acquisitie netwerk weergegeven.

De regenmeters worden om de tien seconden uitgelezen, terwijl de signalen van de stations en de radiometers op secondebasis worden verwerkt. Het gaat hier om in totaal 22 registraties (8 signalen per station, 2 radiometer signalen en 4 regenmeter uitlezingen). Het transport naar de 'master' vindt om de tien seconden plaats. Parallel hieraan is een aparte verbinding aangebracht om de signalen van de stations en de radiometers centraal op een papier recorder te registreren. Daarnaast worden tevens acht vitale functies in de ontvangerketen van de diversity stations gecontroleerd.
Deze analoge registratie vervult de functie van 'backup', maar dient ook om de werking van de instrumentatie in de gaten te houden ('monitoring').

2.2.2 Het diversity station

De belangrijkste instrumenten in het diversity experiment zijn uiteraard de grondstations. Zij leveren de primaire propagatiegegevens. De volgende transmissie grootheden op 12.5 en 30 GHz worden gemeten:

- de amplitude niveaus in hoofd- en kruis polarisatie richting
- de fase van de signalen in beide polarisaties

De meetnauwkeurigheid hangt van de volgende factoren af:

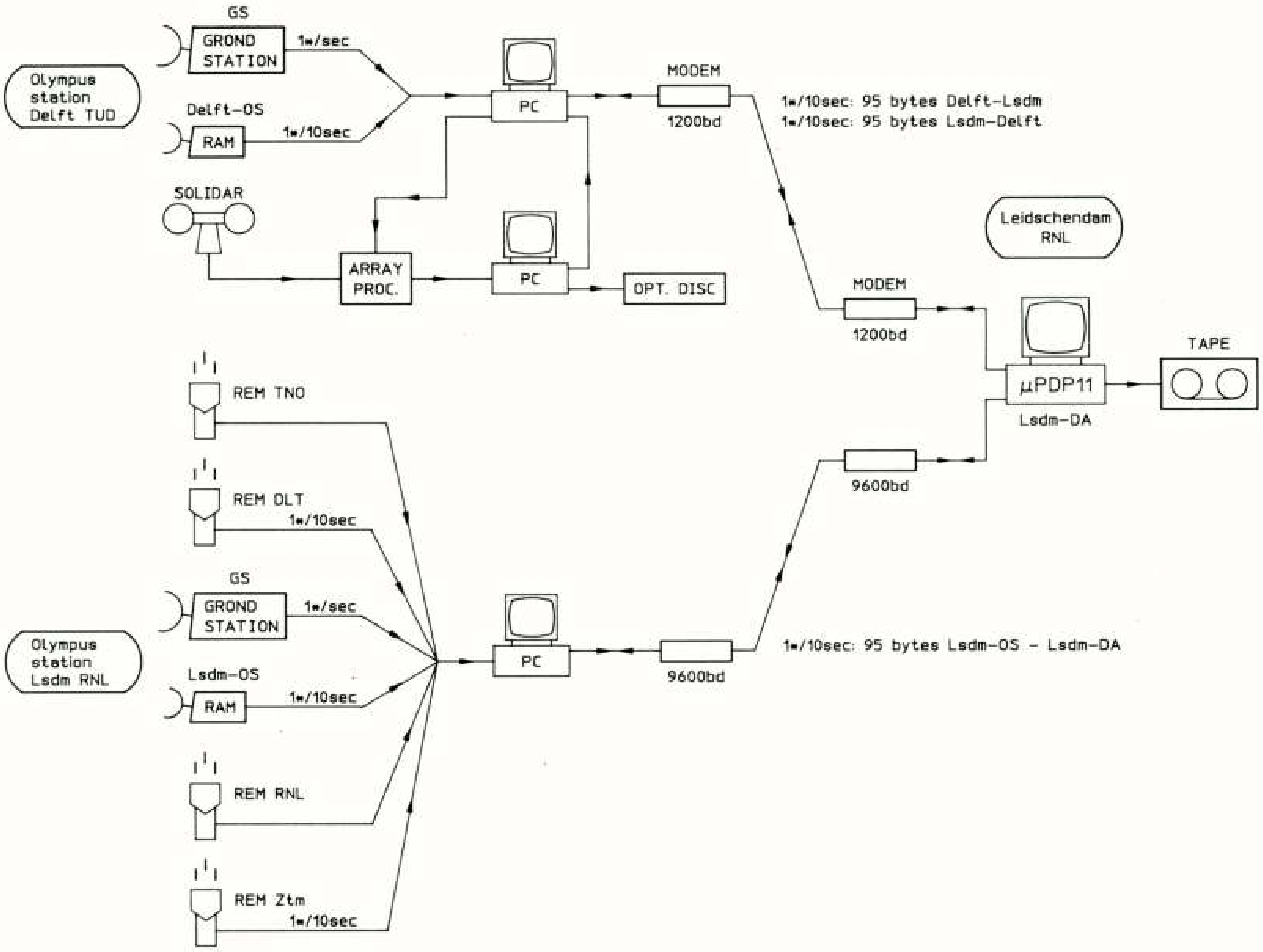
- richtnauwkeurigheid ('tracking performance')
- gevoeligheid van de ontvangers
- kruispolarisatie eigenschappen van de antennes
- kanaalscheiding in de ontvangers
- nauwkeurigheid ,waarin de stationeigenschappen gemeten kunnen worden
- stabiliteit van de ontvangers
- bakenspecificaties m.b.t. frequentie- en amplitude stabiliteit en polarisatie zuiverheid

Uit het bovenstaande kunnen in kwalitatieve zin eisen geformuleerd worden:

- verwaarloosbare amplitude variaties t.g.v. richtfouten
- uitstekende kruispolarisatie eigenschappen (> 40 dB)
- onder extreme fadingcondities nog kunnen meten
- faseverschillen meten tussen alle signalen

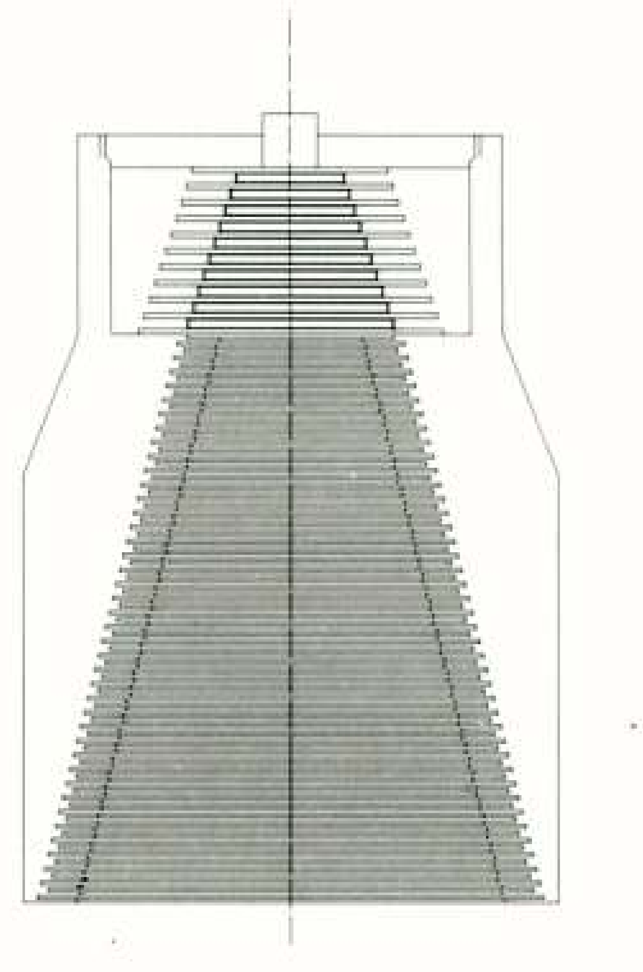
Het antennesysteem
In de ontwikkeling van het antennesysteem is de meeste aandacht besteed aan de polarisatie-eigenschappen van de antenne en de nauwkeurigheid, waarmee de antenne gericht kan blijven op de satelliet. Dat laatste aspect is in het bijzonder van belang voor betrouwbare kruispolarisatie metingen op 30 GHz.

De reflector antenne is een conventionele paraboolantenne met een diameter van 2.5 meter. Omdat belichtingssystemen geschikt voor het ontvangen van twee ver uit elkaar liggende frequenties niet behoren tot de standaard produkten, is de belichting 'in house' ontwikkeld en vervaardigd.
Gekozen is voor een cassegrain belichting. De belichter is een gegroefde hoorn. (Clarricoats, 1984)



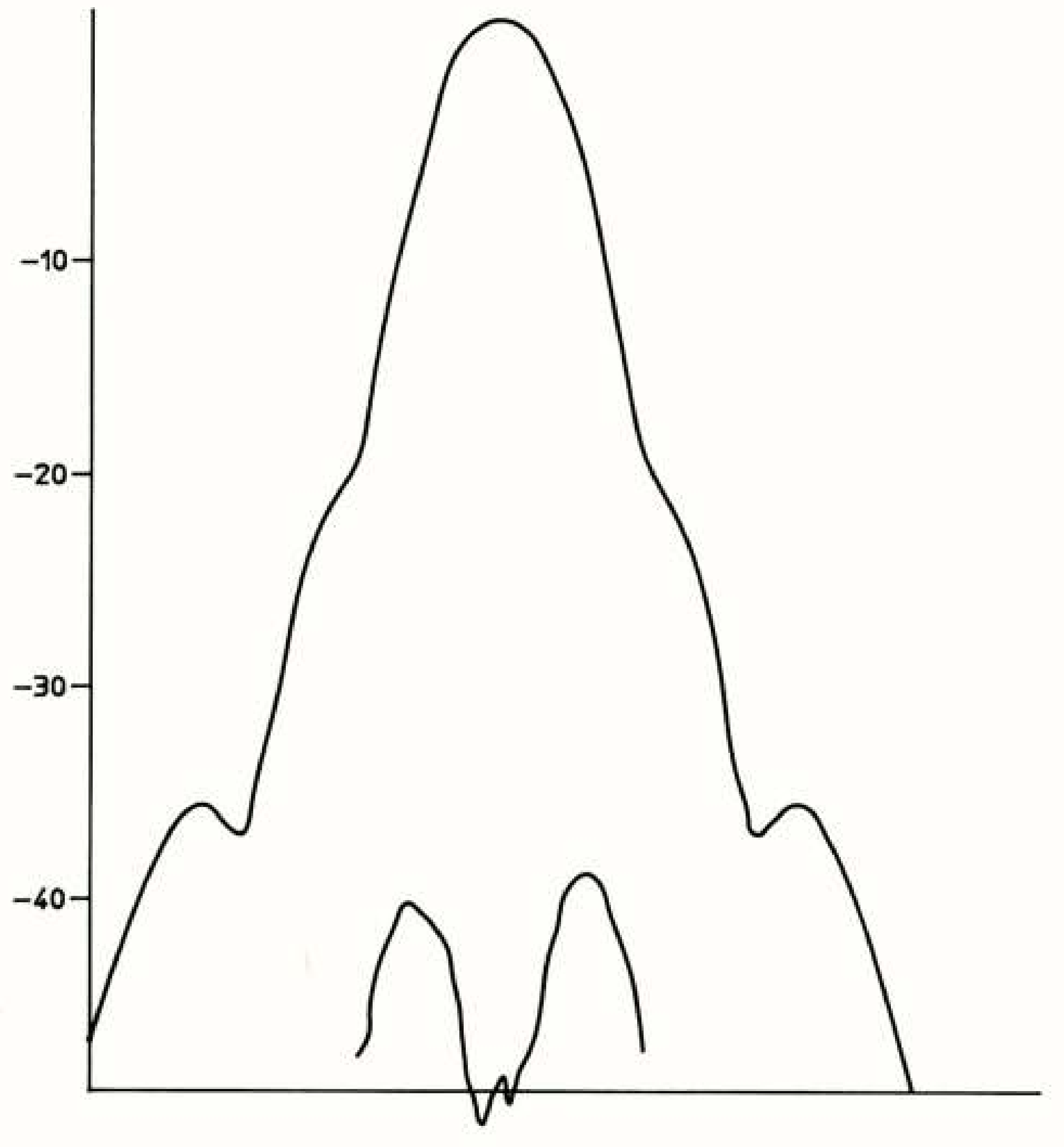
figuur 2. het data-acquisitie systeem

Een dergelijke hoorn heeft zeer goede polarisatie-eigenschappen. Om de belichter geschikt te maken voor 12.5 en 30 GHz wordt een dubbele groefdiepte toegepast.('dual depth corrugated horn') De groefdieptes zijn als functie van de plaats berekend, waarbij de zogenaamde 'space harmonics' in beschouwing zijn genomen. Veel aandacht is besteed aan de overgang bij de hoornkeel.
Dat deel van de hoorn is grotendeels bepalend voor de prestaties. In figuur 3 is de groevenstructuur weergegeven.
De hoornlengte en openingshoek zijn, mede om aan de constructieve beperkingen van de antenne tegemoet te komen, minder optimaal dan mogelijk is. Het gevolg is, dat de fasecentra bij 12.5 en 30 GHz niet samenvallen. Daardoor is de belichting alleen voor een frequentie optimaal te krijgen. Besloten is om bij 12.5 GHz een lichte defocusering toe te staan.
De stralingseigenschappen bij 30 GHz worden sterk verbeterd door in het feedsysteem achter de hoorn het 'dual mode horn' principe toe te passen. Dit principe is al eerder met succes toegepast (Schmidt,1987).
In de figuren 4 en 5 worden de stralingsdiagrammen bij respectievelijk 12.5 en 30 GHz weergegeven (45 graden vlakken). Voor 12.5 GHz is de kruispolarisatie ontkoppeling beter dan 40 dB en bij 30 GHz is dat 35 dB.
De bundel bij 30 GHz is aanzienlijk smaller dan bij 12.5 GHz. Dat betekent een lagere randbelichting bij 30 GHz. Hierdoor daalt het antenne rendement iets.
De subreflector is groter dan volgens de geometrische optica strikt noodzakelijk is. Verder wijkt de subreflector aan de randen af van de hyperbolische vorm. Nadelige diffractie effecten worden hierdoor gereduceerd.

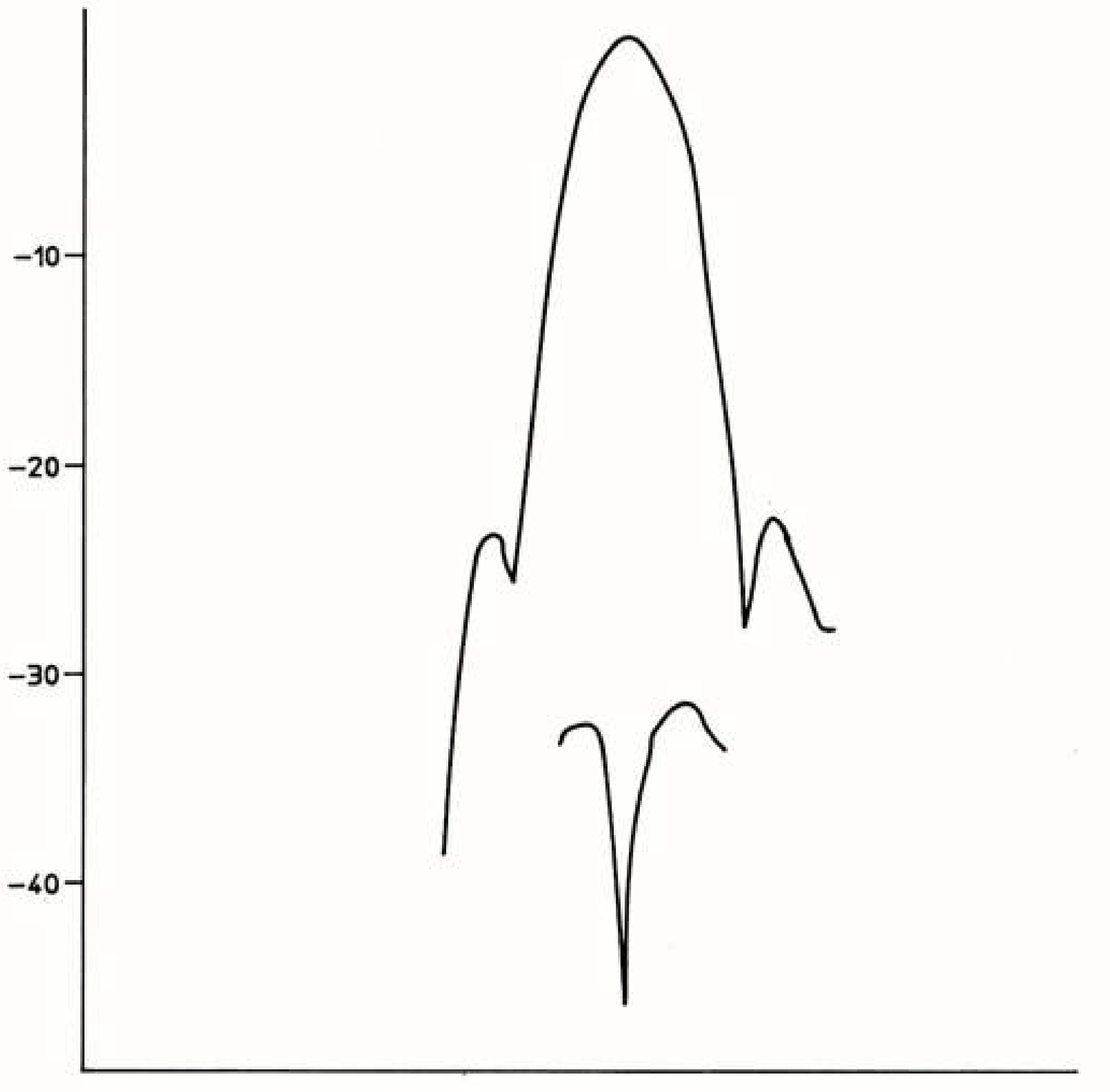


figuur 3. de gegroefde hoorn

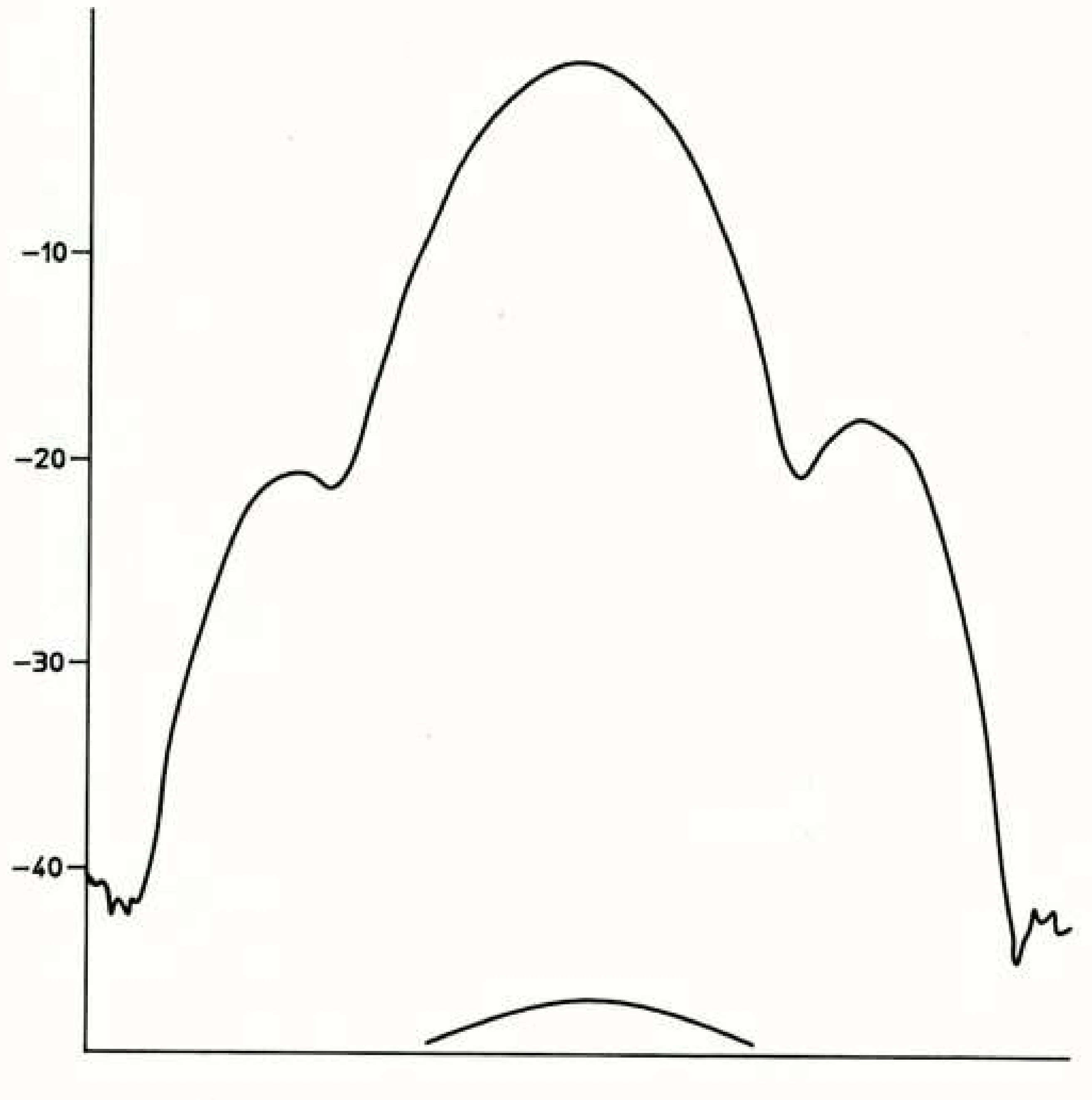
De subreflector wordt met gebogen ophouders ('struts') aan de belichter gefixeerd. Deze constructie biedt de mogelijkheid de complete belichting apart te testen in een antenne meetkamer. Aan de hand van de stralingsdiagrammen van de subreflector is de belichting te optimaliseren (fasemetingen).
De randbelichting aan de subreflector bedraagt bij 12.5 GHz 12 dB en bij 30 GHz 17 dB.
Beide antennesystemen zijn op het RNL gemeten. Daarvoor is een tijdelijke meetbaan uitgezet tussen het RNL en een torenflat op ongeveer een kilometer afstand.
De figuren 6 en 7 geven een indruk van de meetresultaten. Voor beide frequenties geldt een (gemeten) kruispolarisatie ontkoppeling in de hoofdrichting van zo'n 45 dB. Bij 12.5 GHz vertoont het ontkoppeldiagram geen 'dip' in de hoofdrichting. Waarschijnlijk is dat te wijten aan grondreflecties op het meettraject.



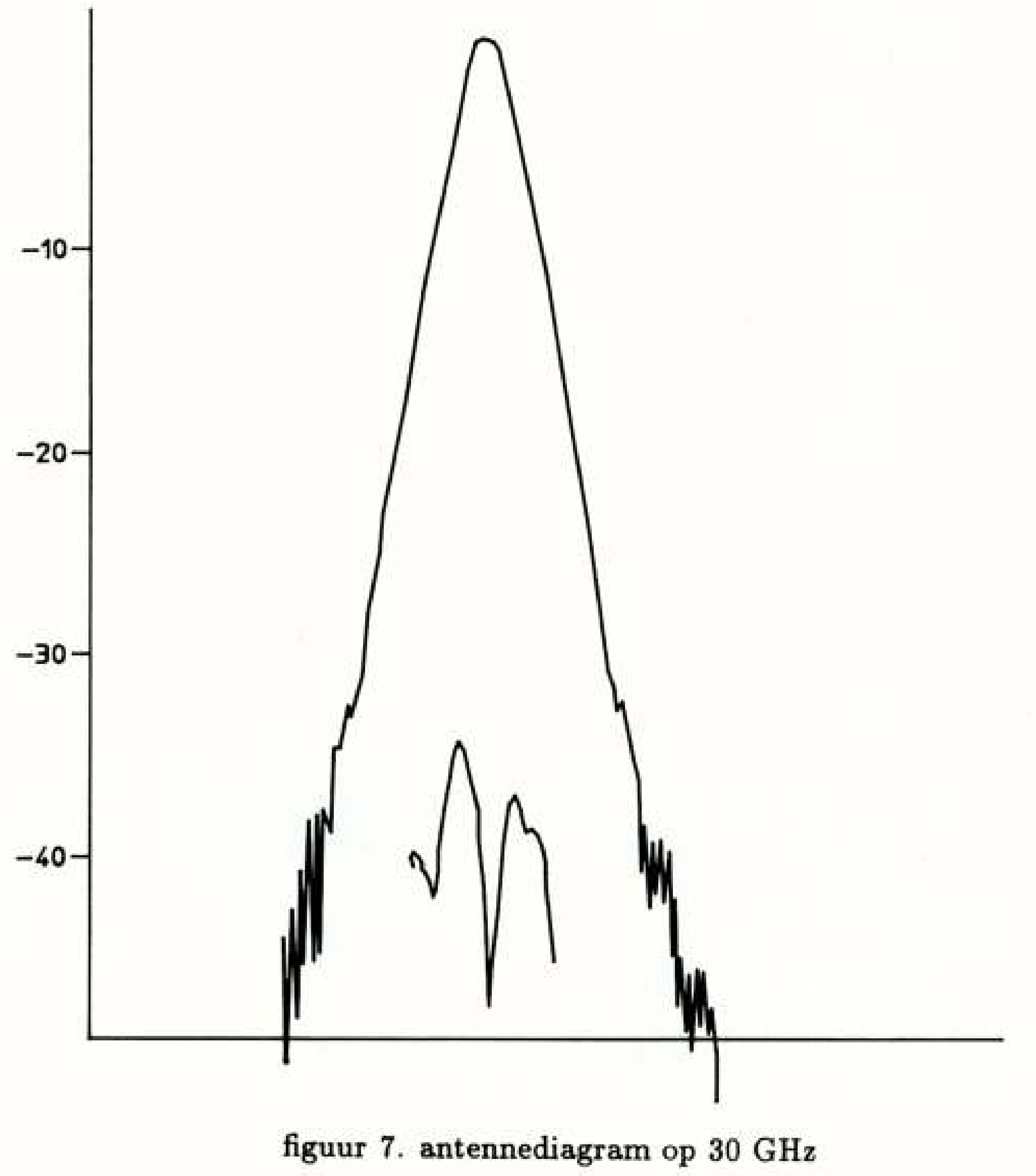
figuur 4. hoorndiagram op 12.5 GHz



figuur 5. hoorndiagram op 30 GHz



figuur 6. antennediagram op 12.5 GHz



figuur 7. antennediagram op 30 GHz

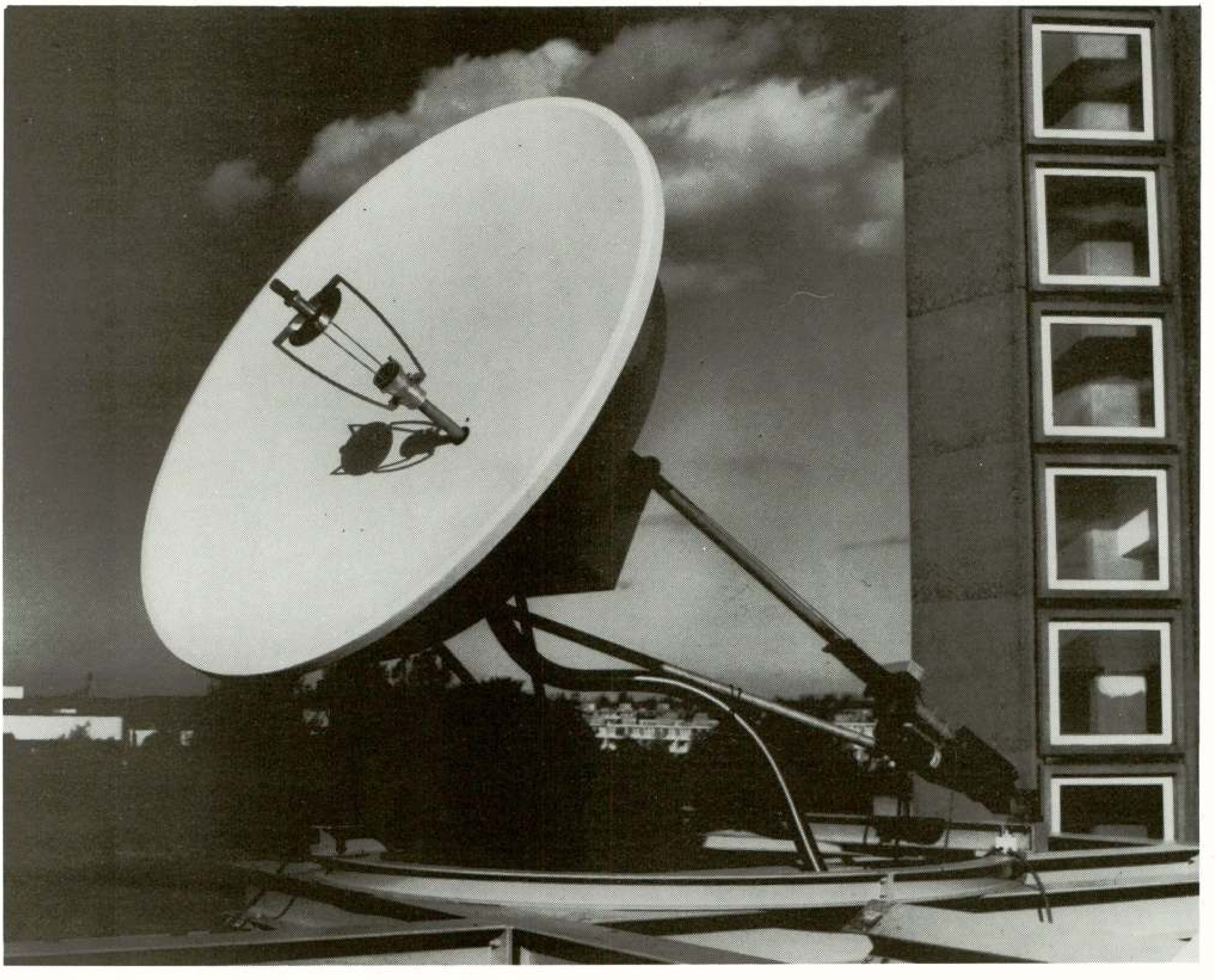
Indien de beoogde richtnauwkeurigheid van 10 milligraden wordt gehaald, dan is de 'eigen' bijdrage in kruispolarisatie ongeveer 45 dB.

Aan de draagconstructie (de antennemount) is grote zorg besteed met betrekking tot het skelet en de beweegbare onderdelen. De rigide constructie en de minimale speling in het mechaniek resulteren in een instelresolutie van 2 milligraden (ook onder windbelasting).
Onder een nominale elevatiehoek van 28 graden kan de antenne 11 graden in azimuth en 7 graden in elevatie bewogen worden. Een eenvoudige microprocessor verzorgt de besturing.
Om de baanbeweging van de satelliet Olympus te kunnen volgen is een steptrack programma ontwikkeld, dat fadingbestendig is. De voorlopige resultaten tonen een richtnauwkeurigheid van ongeveer 10 milligraden op basis van de baangegevens uitgegeven door ESA.
Figuur 8 toont het antennesysteem op het RNL.

De ontvanger
De frequenties van de propagatie bakens worden afgeleid van een enkele moederoscillator.
In het ontvangerconcept is hiervan gebruik gemaakt (v.d.Vleut, 89).
Dat biedt de volgende voordelen:

- de complete ontvanger kan in fase vergrendeld worden op een frequentie, in dit geval is dat 12.5 GHz
- fasevergelijking is mogelijk tussen alle signalen, dus ook tussen 12.5 en 30 GHz.
- de detectie bandbreedte kan zeer klein gekozen worden

De coherente structuur is weergegeven in figuur 9.



figuur 8. foto van het grondstation op het RNL

In het totale systeem (satelliet, propagatieweg, ontvanger) zijn maar twee kristaloscillatoren aanwezig met ongeveer dezelfde frequentiestabiliteit. De rest van de frequenties in het systeem worden rechtstreeks afgeleid van deze moederoscillatoren en in de ontvanger ook afgeleid van een instelbare kristaloscillator, dat in fase vergrendeld is aan één van de bakensignalen.

De aanduidingen in de figuur hebben de volgende betekenis:

B_0	=	12.5 GHz bakensignaal
B_2	=	30 GHz bakensignaal
M0	=	moederoscillator
CE	=	klokextractie voor de digitale filter- en detectiemodules
BB	=	basisband
DAS	=	data acquisitie systeem
f	=	frequentie
M,O en I	=	ontwerp parameters
indices:		
12	=	12.5 GHz tak
30	=	30 GHz tak
Z	=	zender
O	=	ontvanger
R	=	referentie (M0)

De volgende vergelijking geldt:

$$\frac{(M_{12} - O_{12})f_{RO} - 258 f_{RZ}}{I_{12}} = \qquad (1)$$

$$\frac{(M_{30} - O_{30})f_{RO} - 621 f_{RZ}}{I_{30}} \qquad (2)$$

De ontwerpparameters (M, O en I) hebben te maken met de frequentie synthese in de ontvangerketen. Aan te tonen is, dat hiermee aan de frequentie en fase coherentie is voldaan voor elk kanaal.

De ontvanger is in feite opgesplitst in een frontenddeel en een if-deel. In het frontend vindt de eerste frequentieconversie plaats. De lokale oscillatoren worden in fase vergrendeld aan een signaal, dat met directe frequentie synthese wordt opgewekt vanuit een 10 MHz kristalbron.

Op de foto in figuur 10 is het frontend inclusief belichtingsysteem te zien. Het frontend wordt in een speciale behuizing achter de antenne bevestigd (foto in figuur 11)

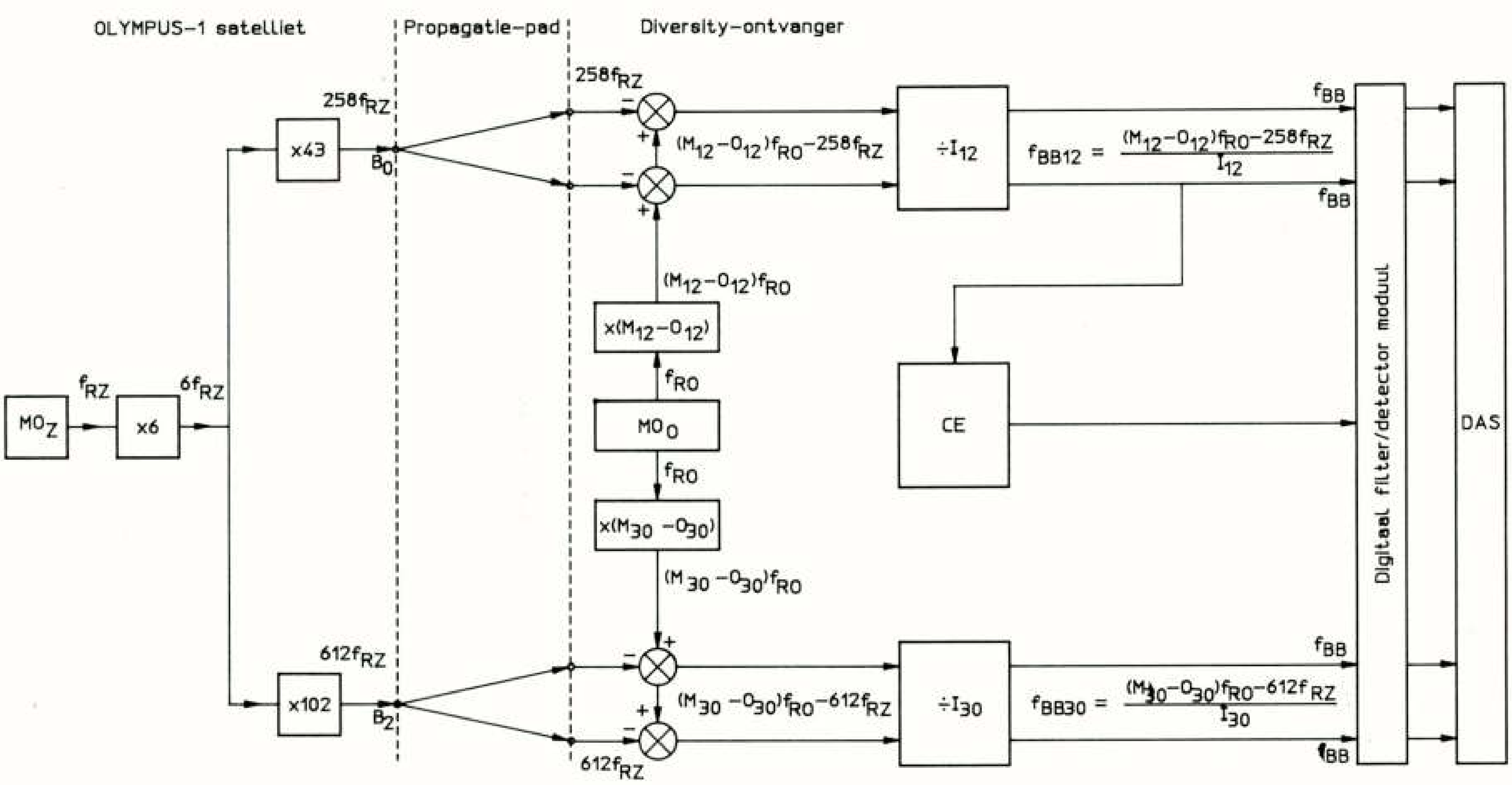
De volgende conversietrappen zorgen ervoor, dat uiteindelijk aan het eind van de ontvangerketen op alle kanalen dezelfde frequentie aanwezig is. De lokale oscillatoren van de tweede en derde trap zijn in fase vergrendeld aan een VCXO. De VCXO, op zijn beurt, is fasestar gekoppeld aan één van de satellietsignalen.

Tot slot worden de signalen bemonsterd, digitaal gefilterd en gedetecteerd in een digitale detectiemodule. De detectie bandbreedte is instelbaar tussen een 1/4 Hz en 16 Hz.

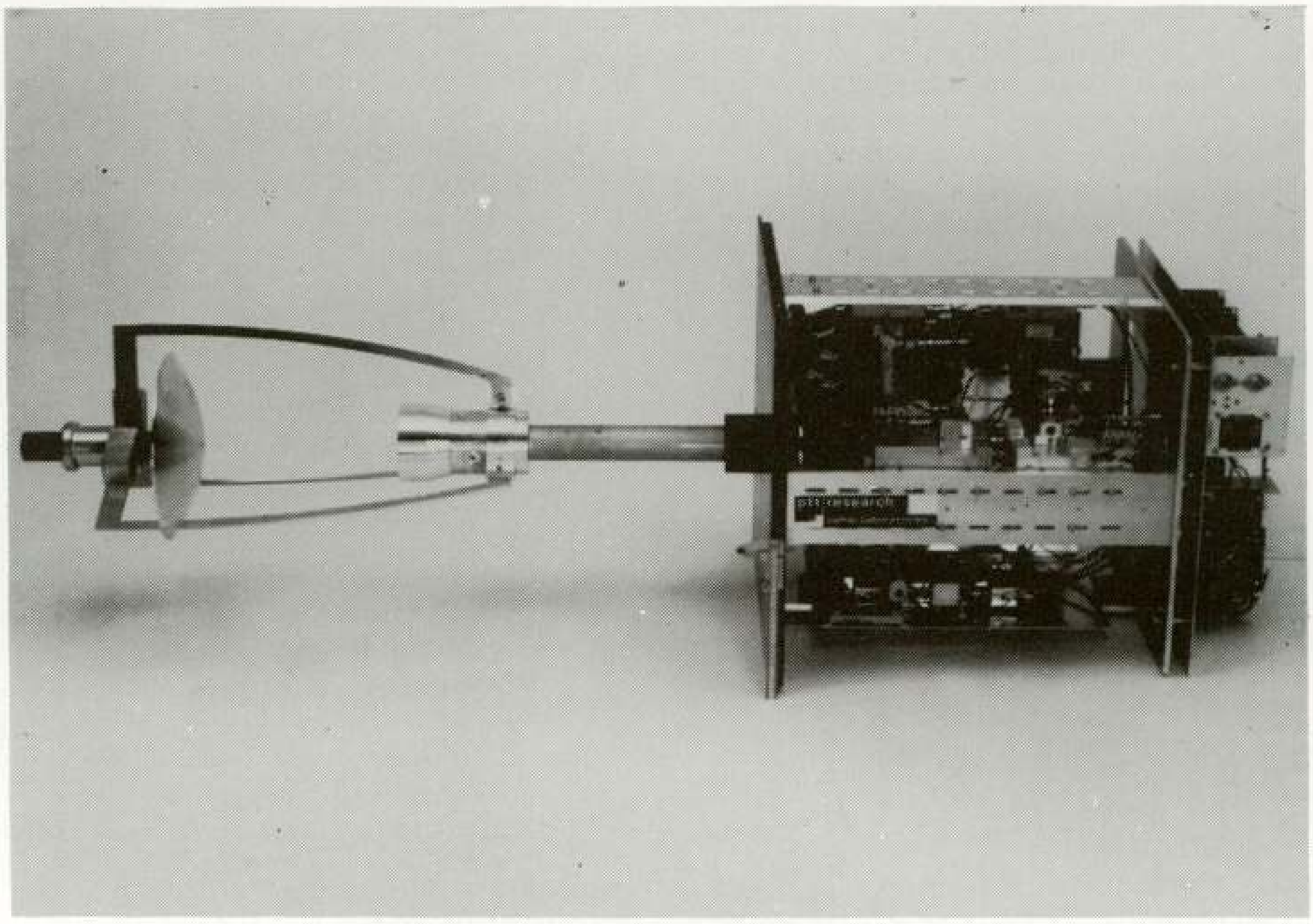
In figuur 12 is de lokale frequentie-opwekking schematisch weergegeven.

Het dynamisch bereik van de detectors is 48 dB. De signaal-ruis verhouding in 1 Hz detectie bandbreedte is aan de onderkant van het ontvangerbereik ongeveer 1, uitgaande van de door ESA gepubliceerde bakenspecificaties.

De foto in figuur 13 geeft een indruk van de 'indoor unit' op het RNL. In het cabinet zijn de volgende systemen samengebracht (van boven naar beneden):



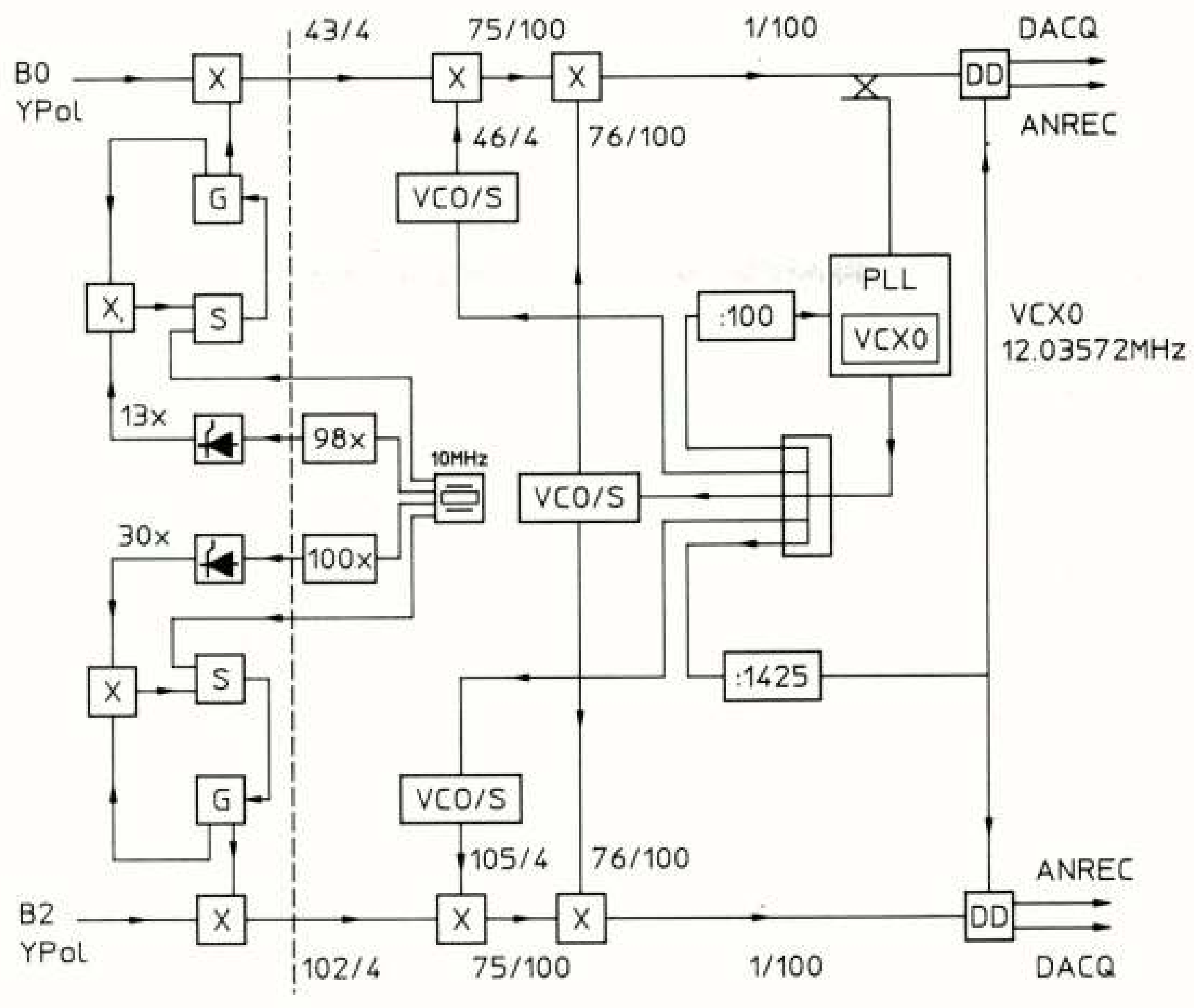
figuur 9. coherente structuur in het ontvangerconcept



figuur 10. foto van belichtingsysteem met frontend



figuur 11. foto **van de frontend** oph**a**nging achter de antenne



figuur 12. schema lokale frequentie opwekking

- de frontend processor
- de antennebesturing
- de bakenontvangers
- de radiometer

Conclusie:
De satelliet Olympus biedt de gelegenheid om in Europa een gedegen meetcampagne te starten in de Ka-band.

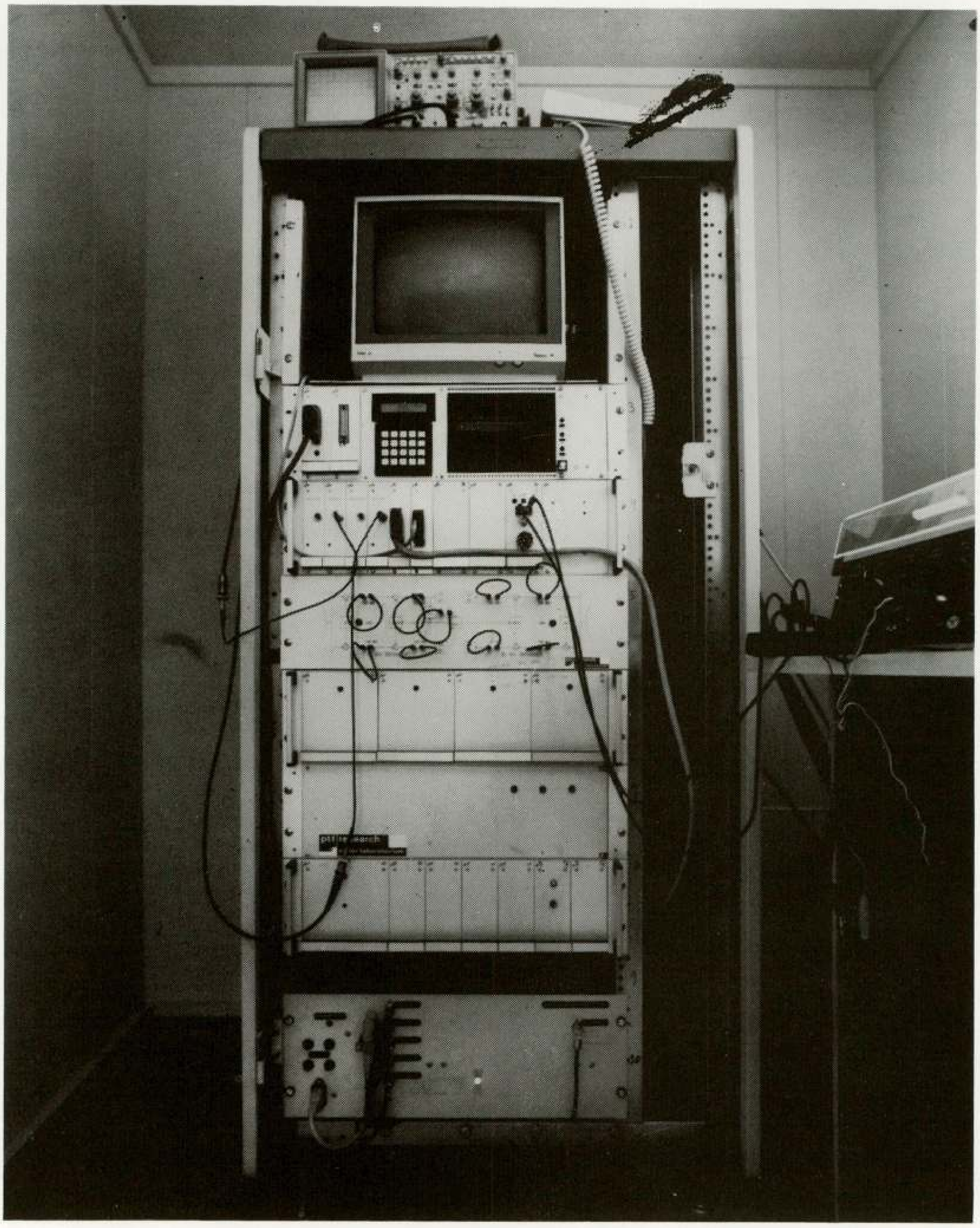
De aldus verkregen informatie wordt gebruikt om verfijnde propagatiemodellen te ontwikkelen ten behoeve van systeemontwerp voor nieuwe radiodiensten.
Het RNL doet in nauwe samenwerking met de TUD een site-diversity experiment. Bijzonder hierbij zijn de zeer gedetailleerde meteorologische waarnemingen met behulp van radartechnieken.
Het site-diversity netwerk is geheel op het RNL ontwikkeld. Om de transmissie grootheden zo goed mogelijk te kunnen meten is grote zorg besteed aan de antennebelichting en het ontvangersysteem. De meetresultaten tot nu toe geven aan dat de instrumentatie aan de eisen voldoet. De voorlopige conclusie luidt dan ook, dat de beoogde doelstellingen voor dit experiment gehaald zullen worden.

Literatuur

[1] P.J.B. Claricoats and A.D. Olver
Corrugated horns for microwave antennas
London, UK: Peregrinus Ltd, 1984

[2] J.R. Schmidt
A multi-frequency feed for 12.5, 20 and 30 GHz propagation experiments
RNL-Monograph 8709

[3] H.J.T. van der Vleut
12.5/30 GHz bakenontvangers voor synchrone site-diversity propagatie-experimenten met Olympus-1
RNL rapport 101 RNL/89



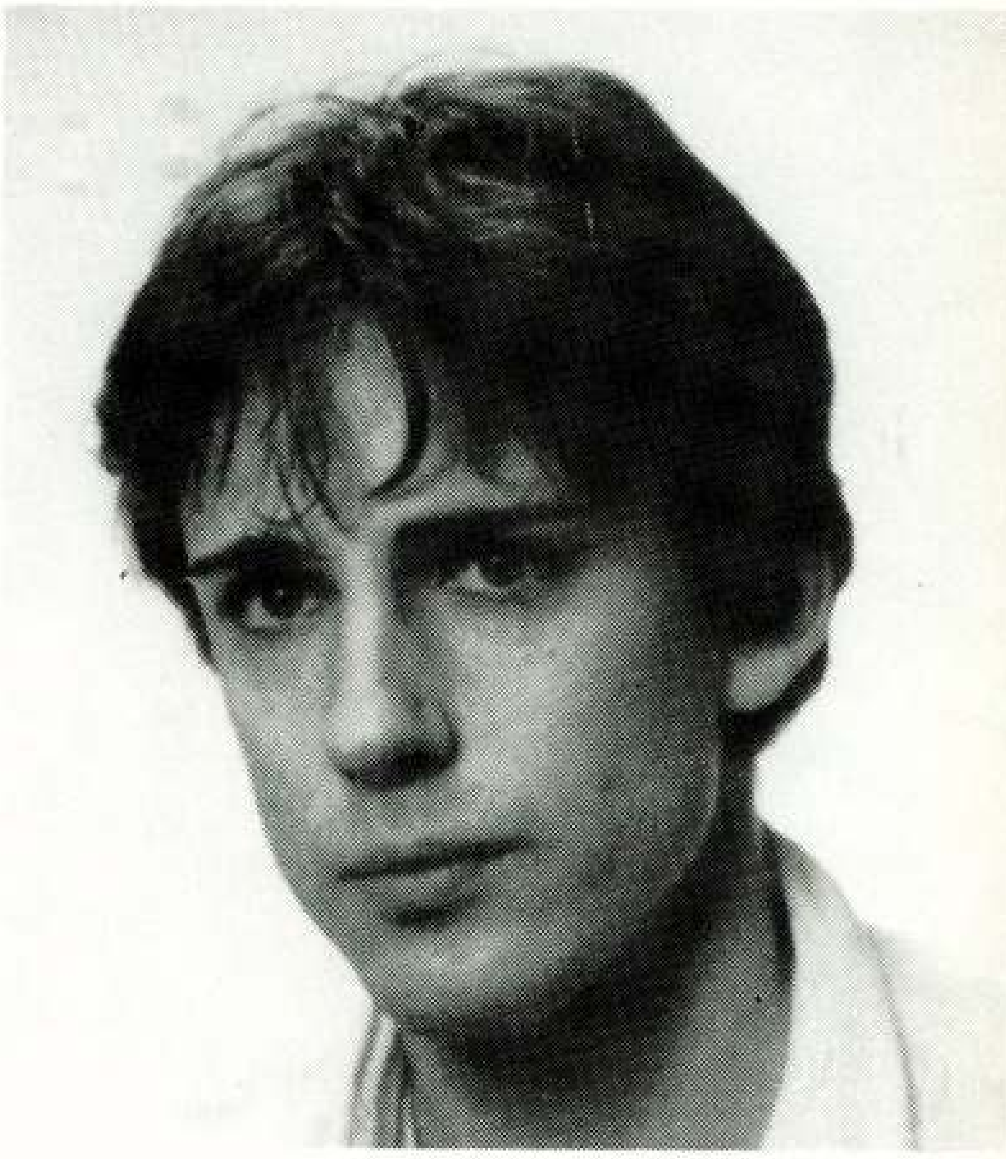
figuur 13. foto van de "indoor unit"

Voordracht gehouden tijdens de 367e werkvergadering.

UIT HET NERG

Onderstaand zijn de foto's van pagina 41 en 45 nogmaals afgedrukt. Tot onze spijt werden deze afbeeldingen in het tijdschrift verwisseld. U kunt deze fout herstellen door bijgaande foto's over de oude heen te plakken.





LEDENMUTATIES

Voorgestelde leden

Ir. H.J.R. Bastiaansen, Mgr. Nolenslaan 43, 5103 BK DONGEN.
Ir. M.O. van Deventer, Pr. Frederiklaan 478, 2263 HP LEIDSCHENDAM.
Ir. B. Rijsdijk, Indigoblauw 25, 2718 JZ ZOETERMEER.
A. Slob, Kapteynlaan 8, 5505 AZ VELDHOVEN.
Ing. H.E.P. Tattje, Wijntjeskamp 25, 7576 EK OLDENZAAL.
Ir. L.D.C. van Werkhoven, Nassaupark 17, 2161 KK LISSE.

Nieuwe leden

Ir. D. Beaufort, Watersteeg 4d, 2311 HZ LEIDEN.
Ing. A.C. van der Jagt, Bugel 48, 2907 GA CAPELLE A/D IJSSEL.
Drs. P.F.J. van Velthoven, Molenwerfsteeg 27, 3514 BZ UTRECHT.
Mw. Ing. E. Harreveld, Van Boetzelaerlaan 47, 2581 AB 's-GRAVENHAGE.

Nieuwe adressen van leden

Ing. J.M.L. Hruschka, Bodegemstraat 174, B-1710 DILBEEK, België.
P.C.M. van de Jagt, M. Stormstraat 51, 2614 HS DELFT.
Ir. dipl. phys. S.Y. Kan, Martin Luther Kinglaan 292, 1111 LP DIEMEN.
D.A. van der Meij, Vosseveld 21, 8017 MR ZWOLLE.
Ir. G.A. van der Spek, Tjotterwerf 2, 2317 DR LEIDEN.
Ir. M.L.G. Thoone-Geurts, Tiergartenstrasse 22, 6333 BRAUNFELS, West-Duitsland.

Bij het ter perse gaan van dit nummer bereikt ons het bericht van het overlijden van ons erelid Prof. Ir. B. van Dijl.

Conferentieaankondigingen

1990 IEEE Information Theory Workshop.
Topics: Recording and memory systems; Identification and hypothesis testing; Channel coding; Cryptology; Neural networks and artificial intelligence; Random and multiple access communications; Source coding.
10 - 15 June 1990 in the Conference Centre "Koningshof", Veldhoven.
For more information contact: Han Vinck; Eindhoven University of Technology, P.O. Box 513, 5600 MB Eindhoven. Tel. 040-473672.

Concept programma NERG 1990

WV 375 +
24 januari, Delft
RACE

JV & WV 376 +
5 april, Utrecht, PTT vergadercentrum
Elektronica en bedrijfszekerheid

WV & WB 377
23-27 april, Utrecht, Jaarbeurs
Het instrument (absolute metingen) (cont.: Van Swindenlaboratorium)

WV 378
mei, ?
Elektronica- en telecommunicatie hulpmiddelen voor gehandicapten

WV + 379
september, RNL, Leidschendam
EMC (ESD, EMI)

WV + 380
november, NLR?
Satellietnavigatie

WV = werkvergadering, uitsluitend voor NERG-leden;
WV + = werkvergadering, voor NERG-, KIVI-, AES- en IEEE-leden;
WB = werkbezoek, uitsluitend voor NERG-leden;
JV = jaarvergadering, uitsluitend voor NERG-leden;
SMR = semiminar.

Tijdschrift van het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap

Inhoud

deel 54 – nr. 4 – 1989

Druk: de Witte, Eindhoven.